

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Automatización de la evacuación de las piezas cortadas por la máquina Trumpf L6050



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Nombre y apellidos del autor: Abdelali Ankour Bouda

Nombre y apellidos del director: Juan Ignacio Latorre Biela

Tudela, 27/Junio/2016

upna
Universidad
Pública de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

Resumen

El objetivo principal de este trabajo fin de grado es diseñar un sistema para automatizar la evacuación de las piezas metálicas, cortadas por la máquina de corte por láser TRUMPF L6050 de manera segura, sencilla y ordenada, para limitar los costos de producción, agilizar la evacuación y orden de las piezas cortadas, además de no tener necesidad de personal, por lo tanto, aumentar la rentabilidad en la producción. Para lograr el objetivo propuesto se ha procedido a estudiar diferentes soluciones combinando equipos comerciales con sistemas de diseño propio. La solución final elegida cumple con los requisitos previstos.

Palabras claves

Corte por láser, evacuación de piezas, robótica, bastidor neumático, cambio automático de herramienta

Abstract

The main objective of this dissertation is to design a system for automating the pick of metallic parts cut by a TRUMPF L6050 laser cutting machine up, in a safe, simple, and organized way. This system is expected to constrain the production costs, to speed up the pick-up process, as well as to prevent the need of specific staff, and, as a consequence, to improve the yield. In order to achieve the proposed objective, several different solutions combining commercial equipment with original designs have been analyzed. The chosen solution meets all the specifications that had been required for the manufacturing process.

Keywords

Laser cutting, pick parts up, robotics, pneumatic frame, automatic tool change

ÍNDICE

Pág.

1. Contextualización y planteamiento de la necesidad a resolver.....	7
1.1. Objetivos.....	7
1.2. Descripción de la empresa.....	7
1.2.1. Dedicación.....	7
1.2.2. Antecedentes.....	8
1.2.3. Ubicación.....	8
1.3. Maquina TRUMPF L6050.....	9
1.3.1. Datos técnicos.....	10
1.3.2. Características.....	10
1.4. Corte por láser CO ₂	11
1.4.1. Resonador.....	11
1.4.2. Recorrido de la luz.....	12
1.5. restricciones.....	13
2. Trabajo de campo para determinar las especificaciones de la instalación a diseñar....	14
2.1. Análisis de las piezas del último mes.....	14
2.1.1. Porcentaje de piezas según las dimensiones.....	14
2.1.2. Porcentaje de las piezas según el tipo de material.....	15
2.1.3. Tiempo medio de corte de una chapa de materia prima en función de su espesor.....	16
2.2. Estudio del lugar de trabajo.....	21
2.2.1. Dimensiones de lugar de trabajo.....	23
2.2.2. forma de trabajar.....	23
2.2.2.1. ¿Cómo se carga la chapa de materia prima?.....	25
2.2.2.2. ¿Cómo se evacuan las piezas?.....	25
3. Análisis de alternativas.....	27
3.1. Sortmaster.....	27
3.1.1. Conclusión.....	28
3.2. Manipulador automático LVD.....	28
3.2.1. Conclusión.....	29
3.3. Manipulación de material robotizado PICK-SORT.....	30
3.3.1. Conclusión.....	30
3.4. ASTES 4 Sort (A4S)	31
3.4.1. Conclusión.....	32
3.5. Bystronic BySort.....	32
3.5.1. Conclusión.....	33
3.6. Starmatik.....	33
3.6.1. Conclusión.....	34
3.7. Comparación de los diferentes sistemas de evacuación.....	35
3.7.1. Conclusión.....	36
3.8. Conclusión.....	36
4. Diseño de nuestro sistema de evacuación.....	36
5. Selección de Robot.....	37
5.1. Definición de Robot Industrial.....	37
5.2. Características a considerar en la elección de un robot.....	37
5.2.1. Zona de trabajo.....	37

5.2.2.	Grados de libertad.....	38
5.2.3.	Precisión, Repetibilidad y Resolución.....	38
5.2.4.	Velocidad.....	39
5.2.5.	Capacidad de carga.....	39
5.2.6.	Sistema de control.....	40
5.2.7.	Actuadores.....	40
5.2.7.1.	Actuadores neumáticos.....	40
5.2.7.2.	Actuadores hidráulicos.....	42
5.2.7.3.	Actuadores eléctricos.....	42
5.3.	Grandes marcas de Robots.....	44
5.4.	Velocidad mínima del robot.....	45
5.5.	Dimensiones del entorno de trabajo.....	47
5.6.	Corredera para la traslación rectilínea del robot.....	49
5.6.1.	ABB.....	49
5.6.2.	COMPAÑÍA INTELIGENTE PERIPHERIEN FÜR ROBOTER.....	51
5.6.3.	KUKA KL 2000.....	52
5.6.4.	WINKEL.....	54
5.7.	Comparación de las correderas.....	56
5.8.	Representación gráfica de los robots.....	57
5.9.	Comparación de los robots seleccionados.....	59
5.9.1.	Características de los robots seleccionados.....	59
5.9.2.	Espacio de trabajo de los robots seleccionados.....	60
5.9.2.1.	ABB IRB 6640-130.....	60
5.9.2.2.	FANUC R-2000iC/125.....	61
5.9.2.3.	FANUC R-2000iC/165.....	62
5.9.2.4.	KUKA KR 120 R3200 PA.....	63
5.9.2.5.	KUKA KR 150 R3100 Prime.....	64
5.9.3.	Velocidad de los robots.....	65
5.10.	Comparación de las correderas	66
6.	Elemento de sujeción de las piezas (Grippers)	68
6.1.	Diseño del sistema de cambio de herramienta.....	68
6.1.1.	Finalidad del sistema de cambio de herramienta.....	69
6.1.2.	Dimensiones y material del sistema de cambio de herramienta.....	69
6.1.2.1.	Propiedades del Aluminio 6061-T6.....	69
6.1.2.2.	Uso del Aluminio 6061-T6.....	70
6.1.2.3.	Composición química.....	71
6.1.3.	Plato master.....	71
6.1.3.1.	Estudio de elementos finitos.....	71
I.	Mallado del plato master.....	72
II.	Selección de la parte fija del plato master.....	72
III.	Aplicación de la carga.....	73
IV.	Tensión de Von mises.....	73
V.	Desplazamiento del plato master.....	74
6.1.4.	Plato tool.....	74
6.1.4.1.	Elementos del plato tool.....	75
6.1.4.2.	Estudio de elementos finitos.....	77
I.	Mallado del plato tool.....	77
II.	Selección de la parte fija del plato tool.....	78
III.	Aplicación de la carga.....	78

	IV.	Tensión de Von mises.....	78
	V.	Desplazamiento del plato tool.....	79
6.1.5.		Servicios a pasar del robot a la herramienta.....	79
6.1.6.		Funcionamiento del sistema de cambio de herramienta.....	80
6.1.7.		Conclusión.....	83
	6.1.7.1.	El sistema no es fiable.....	83
	6.1.7.2.	No es eficiente.....	84
	6.1.7.3.	Grandes pérdidas de aire comprimido.....	84
6.1.8.		Posibles soluciones.....	84
6.2.		Diseño de las herramientas.....	86
	6.2.1.	Procedimientos para dimensionar nuestro sistema.....	86
		6.2.1.1. Cálculo de fuerzas.....	87
		6.2.1.2. Selección de la ventosa.....	89
		I. Funcionamiento de la ventosa.....	89
		II. Aceleración.....	89
		III. Centro de gravedad (equilibrio).....	90
		IV. Determinación de la forma de la ventosa.....	90
		V. Material de la ventosa.....	91
		VI. Selección de la ventosa.....	93
	6.2.2.	Descripción de las partes de la ventosa.....	97
		6.2.2.1. Tubos flexibles.....	97
		6.2.2.2. Distribuidores.....	99
		6.2.2.3. Generador de vacío.....	100
		I. Introducción teórica.....	100
		II. Tipos de generador de vacío.....	100
		a. Generador de vacío neumático.....	100
		b. Generador de vacío eléctrico.....	102
		c. Selección del generador de vacío.....	103
		III. Selección del generador de vacío.....	103
		6.2.2.4. Biela elástica.....	106
		6.2.2.5. Racores.....	108
		6.2.2.6. Válvula unidireccional.....	109
		6.2.2.7. Alojamiento articulado.....	110
		6.2.2.8. Perfil.....	111
		6.2.2.9. Racor SVS.....	111
		6.2.2.10. Base del plato tool.....	112
	6.2.3.	Diseño final de nuestro sistema.....	112
	6.2.4.	Vista explosionada de la herramienta con el plato tool.....	115
7.		Presupuesto.....	116
8.		Conclusión trabajos futuros.....	117
	8.1.	Conclusión.....	117
	8.2.	Trabajos futuros.....	118
9.		Apéndice. Planos de piezas fabricadas.....	119
10.		Bibliografía y Webgrafía.....	127

1. Contextualización y planteamiento de la necesidad a resolver.

La máquina TRUMPF L6050 realiza el corte de las piezas mediante la tecnología de láser, una vez que la maquina acaba el proceso de corte de las piezas, se hace un intercambio de mesa de trabajo, entra una chapa de materia prima nueva y sale la chapa con las piezas cortadas a una mesa exterior.

La evacuación y el orden de las piezas se hace de manera manual, utilizando un puente grúa para las piezas de dimensiones y peso considerables, por lo tanto, se requiere de una persona y el tiempo de la evacuación de las piezas es muy alto.

1.1. Objetivo

Con ánimo de no quedar fuera del contexto competitivo en el mercado global actual, los fabricantes deben invertir constantemente en los últimos avances tecnológicos en automatización. Ésta es la manera de competir con efectividad contra los productores de más bajo coste.

El objetivo principal de este trabajo fin de grado es diseñar un sistema para automatizar la evacuación de las piezas metálicas, cortadas por la máquina de corte por láser TRUMPF L6050 de manera segura, sencilla y ordenada, para limitar los costos de producción y maximizar la eficiencia en la producción.

Lo que se busca con este sistema de evacuación automatizada es agilizar la evacuación y orden de las piezas cortadas, además de no tener necesidad de personal, por lo tanto, aumentar la rentabilidad en la producción.

1.2. Descripción de la empresa

1.2.1. Dedicación

SINASE, empresa especializada en la transformación y comercialización de productos metálicos y suministros industriales.

SINASE cuenta con 5 divisiones para ofertar todo tipo de servicios a la industria. Transformación de chapa, vigas almacén de tubo y carpintería metálica, ferretería industrial, Ferralla y oficina técnica

Ofrece una amplia gama de productos industriales complementada con un servicio de transformación integral del acero mediante la más completa maquinaria. Transformación del acero corrugado para la fabricación de armaduras pasivas que, cumpliendo un proyecto de obra, utiliza las más modernas máquinas como: carros de corte, dobladoras, enderezadoras, estribadoras, preconformadora de armaduras, plegadoras de mallazo, máquinas de soldar...

SINASE cuenta con un avanzado sistema de corte por láser que permite manipular materiales de hasta 20mm de espesor, también disponemos de sistema de oxicorte que permite manipular materiales de hasta 200mm de espesor.

1.2.2. Antecedentes

Los orígenes de la empresa se remontan al año 1.941, cuando bajo la denominación Serrería Navarra S.L., comenzó en Olite, ofreciendo servicios al sector de la construcción.

En 1.951, se constituye SINASE S.L. y trasladan las instalaciones a Tudela, buscando las vías de comunicación que permitieran extender la acción fuera de la provincia de Navarra.

Atendiendo las demandas del sector de la Industria y la Construcción, se introdujeron dos nuevas actividades: Almacén de Hierro y Taller de Ferralla, que marcarían toda la posterior evolución de la empresa.

En 1.975, Hierros Alfonso S.A. pasa a formar parte de la sociedad, constituyéndose SINASE ALFONSO S.A.

Desafiando la inestabilidad económica que caracteriza el final de esta década, la empresa acometió los cambios estratégicos que le permitieron, sortear la crisis económica, duplicar la plantilla y adquirir su actual perfil: desaparición de la división de madera e implantación de las divisiones de chapa y ferretería.

En el año 2000, en su afán por mejorar su servicio, traslada sus instalaciones de Ferralla al polígono las Labradas a un taller de 6400m² de superficie, siendo una de las primeras empresas españolas y la primera en Navarra en sacarse el certificado de calidad de AENOR. Ya en el año 2008, y continuando con su proyecto de unir sus instalaciones, se traslada el almacén de hierros y la ferretería a sus nuevas instalaciones en el polígono las Labradas uniendo de nuevo todas sus divisiones.

1.2.3. Ubicación

Pol. Las Labradas Vial Madrid 8-10
 Tudela (Navarra)
 C.P.: 31.500

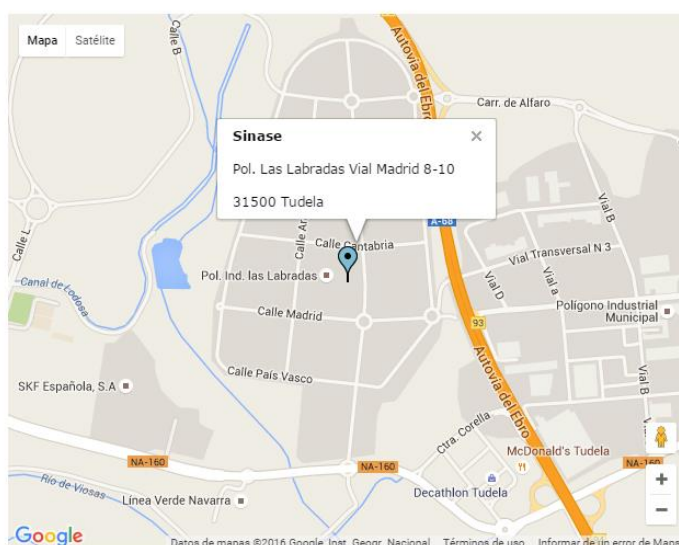


Figura 1 Ubicación de la empresa

La **Figura 1** demuestra la ubicación de la empresa según Google Maps.

1.3. Máquina TRUMPF L6050

La máquina TRUMPF L6050 es la máquina a la cual vamos a hacer el estudio de automatizar la recogida y el almacenamiento de las piezas que evacua.

La máquina TRUMPF L6050 es una máquina que utiliza la tecnología de corte por láser. En la perforación por láser, un breve pulso del láser con una gran densidad de potencia se encarga de fundir el material y provocar su evaporación. La elevada presión que se genera con esta operación expulsa la colada del agujero. Es capaz de cortar diferentes materiales y espesores sin cambiar el “setup” de la máquina y sin cambiar el cabezal de corte.

Se entiende como Nesting, las ordenes de trabajo generados en la oficina que sirven como base para cortar una plancha de materia prima, esa orden de trabajo visualizara de forma gráfica (CAD) las diferentes piezas que se cortan de una plancha de materia prima. La orden de corte que se le envía a la maquina (Nesting), la máquina TRUMPF L6050 la traduce al lenguaje CAM para mecanizar la chapa de metal.



Figura 2 Máquina TRUMPF L6050. (TRUMPF, 2016)

En la **Figura 2** se hace una representación de la máquina de corte por láser, a la cual se estudiará automatizar el almacenamiento de las piezas que evacua.

1.3.1. Datos técnicos

- **Marca:** TRUMPF
- **Especie:** LASER CUTTINGMACHINE
- **Lenguaje de Programación:** Siemens Sinumerik 840D
- **Capacidad de trabajo:** 6.000 x 2.000 x 115 (XxYxZ, mm)
- **Potencia máx. de láser:** 6.000 (W)
- **Grosor máx. de hierro:** 25 (mm)
- **Grosor máx. de hierro inoxidable:** 25 (mm)
- **Grosor máx. de aluminio:** 15/20 (mm)
- **Velocidad de posicionamiento X/Y:** 200 / 200 (m/min)
- **Velocidad simultaneo X+Y:** 300 (m/min)
- **Consumo eléctrico de la instalación:** 15–65 kW
- **Longitud de onda:** 10,6 μ m
- **Peso de la máquina:** 16.000 (kg)
- **Largo de la máquina:** 16.950 (mm)
- **Ancho de la máquina:** 5.500 (mm)
- **Altura de la máquina:** 2.550 (mm)

(MACHINES, 2016)

1.3.2. Características

- Una de las grandes ventajas de la máquina de corte con la tecnología láser es que el láser gas no es contaminante.
 - Alta productividad
 - Capacidad de cortar diferentes materiales y espesores sin cambiar el “setup” de la máquina y sin cambiar el cabezal de corte.
 - Alta velocidad de ejes y alta dinámica de posicionamiento
 - Excelente balance de energía gracias al láser de CO₂ más eficiente del mundo
 - Máxima fiabilidad en procesos automáticos gracias a la opción Automatización inteligente de toberas
 - Cortar bordes con la mayor calidad a lo largo de todo el mecanizado
 - Es posible realizar grabado, marcado y corte láser con la misma fuente de radiación y en un mismo proceso.
 - La elevada calidad de radiación unida a un bajo consumo de gas gracias a la tecnología HF.
 - Cumple normas de seguridad muy estrictas.
 - Los gases de combustión y el polvo generados en el corte láser son eliminados eficazmente mediante un sistema de aspiración multicámara y un equipo compacto de captación de polvo.
- (ihs-gmbh, s.f.)

1.4. Corte por láser CO₂

El láser de dióxido de carbono (CO₂) es uno de los más antiguos láseres de gas desarrollado por Kumar Patel en los Laboratorios Bell en 1964.

El corte por láser es la técnica de enfocar el haz del láser en un punto del material que se desea tratar hasta alcanzar la temperatura de fusión así fundiéndose y evaporándose logrando el corte. El láser se consigue utilizando un material activo gaseoso que es el Dióxido de Carbono (CO₂), al ser excitado mediante una fuente de energía que es una corriente eléctrica, emite radiaciones luminosas de tipo láser. el (CO₂) es inestable después de la excitación del gas y se debe combinar con helio (He) para estabilizarlo, y nitrógeno (N₂) para reducir el aumento de temperatura que genera el proceso.

(Olalde, 2015)

1.4.1. Resonador

Todo esto se hace dentro de un resonador que es una cámara con dos espejos en sus extremos en donde rebotan las radiaciones luminosas amplificándose. Uno de estos espejos es semitransparente, en algunas partes refleja el material y en otras lo deja pasar.

(Ramón, Septiembre) (wikipedia, 2016)

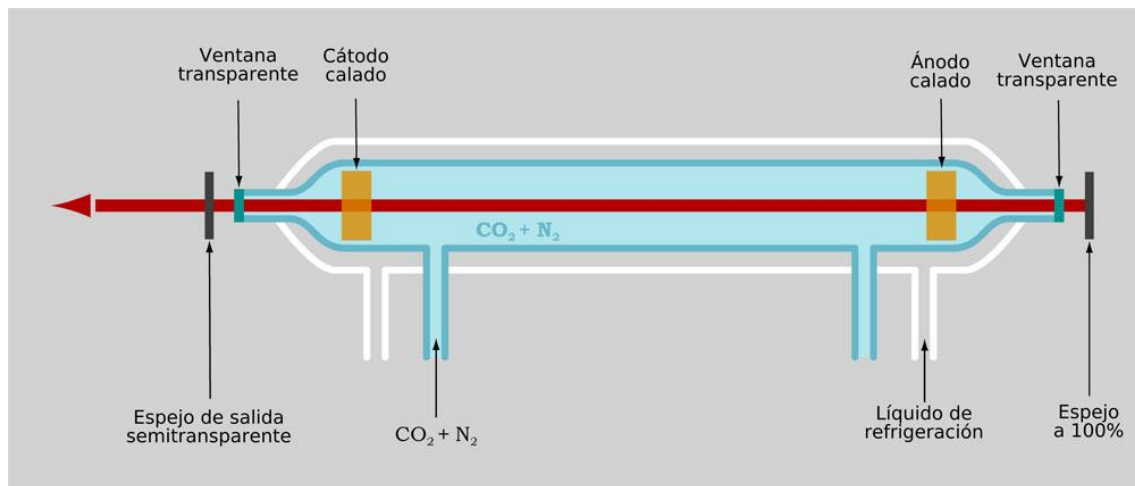


Figura 3 Esquema principal de un láser de (CO₂). (wikipedia, 2016)

En la **Figura 3** se puede observar un esquema del resonador con los espejos que revotan las radiaciones.

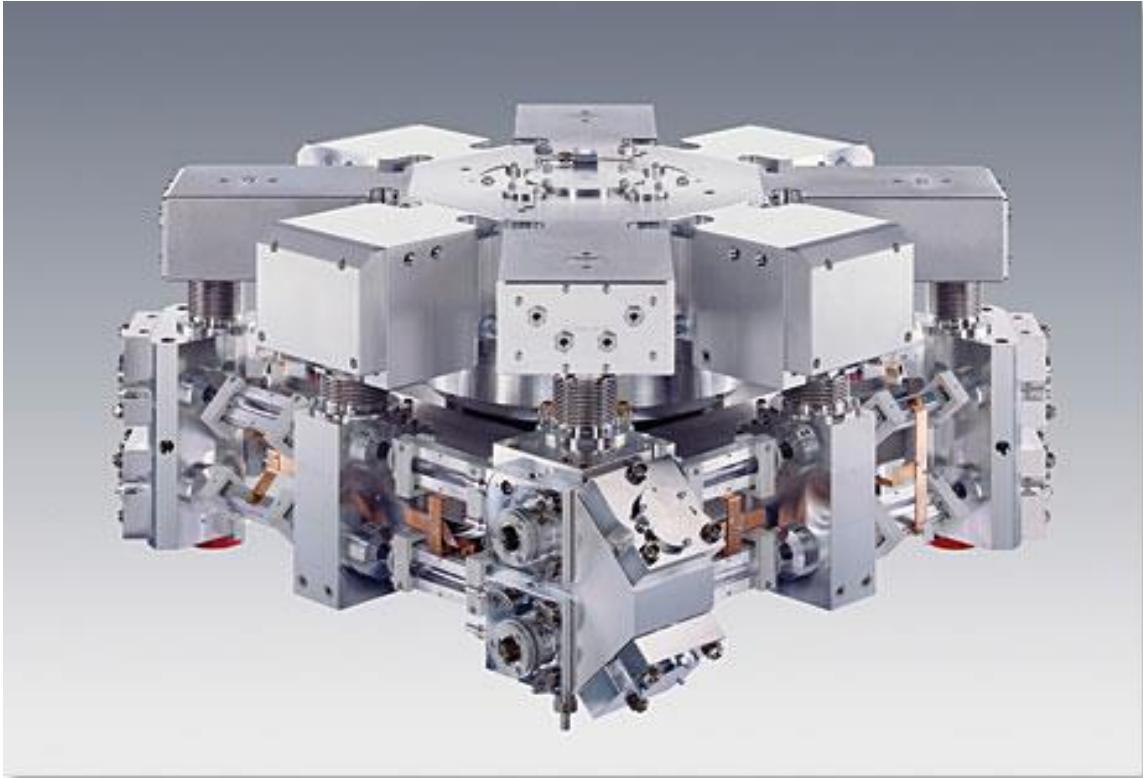


Figura 4 Resonador CO₂ Trumpf

La **figura 4** es la representación del resonador de la maquina TRUMPF L6050.

1.4.2. Recorrido del haz

El haz sale del resonador pasando a través de un espejo semi-permeable que deja pasar parte de la radiación y es llevado hasta la zona de corte mediante un sistema de espejos móviles que ajustan su posición para llevar el láser hasta la posición requerida. En el cabezal cortador, una lente focaliza el haz sobre el material a cortar. (Industrial, 2014)

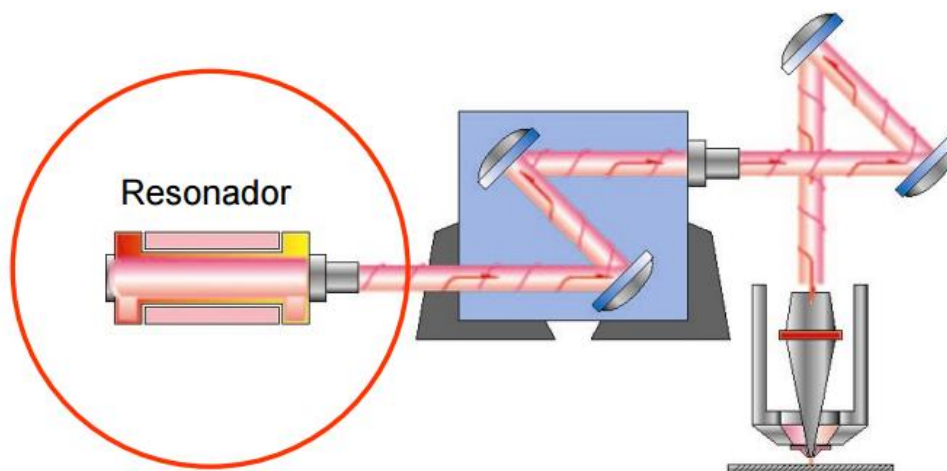


Figura 5 guiado del haz. (Cutting, s.f.)

La **figura 5** es una demostración del guiado del haz de laser por medio de lentes desde su generación en el resonador hasta llegar al cabezal de corte.

A lo largo del corte en la chapa, la longitud del haz desde su generación en el resonador hasta la lente de corte tiene que ser constante, con esto conseguimos cortar con la misma potencia de rayo en todos los puntos de la pieza, por lo tanto, la calidad de corte es igual por toda la superficie del panel.

El eje de compensación (B) y el eje X trabajan en perfecta sincronización con el cabezal de corte y consiguen así que la longitud, el diámetro y la distribución de la energía del haz sea siempre constante. Con este sistema, la calidad de corte se mantiene constante en cualquier punto de la mesa.

(Cutting, s.f.)

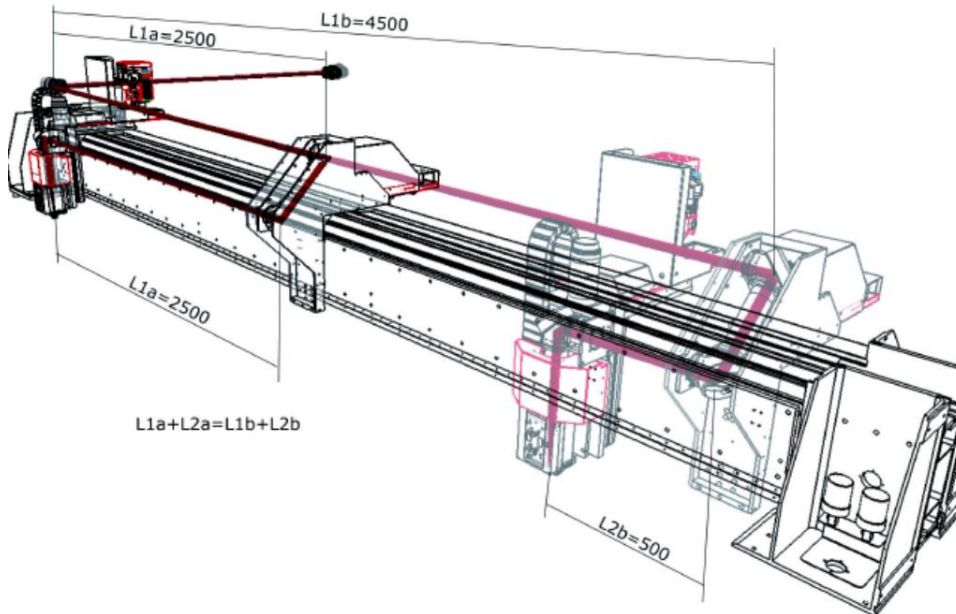


Figura 6 demostracion de la longitud del laser

En la **figura 6** se puede observar como un servomotor se mueve en el eje (X) para recompensar la longitud del laser y mantener esta constante.

1.5. Restricciones que debe cumplir nuestro diseño.

- ¿Es tecnológicamente factible la implementación de este sistema de evacuación automática en la empresa (SINASE)?
- ¿Es una herramienta útil para la empresa la instalación del sistema de evacuación automático?
- ¿el tiempo de evacuación es menor que el de corte?
- ¿es posible la manipulación de diferentes materiales?
- ¿es posible manipular todas las geometrías de las piezas?
- ¿es posible manipular todas las dimensiones de piezas?
- ¿el sistema será capaz de interpretar el código fuente generado desde el programa de diseño de la oficina (Nesting)?
- ¿el sistema cumplirá las normas de seguridad, reglamento electrónico de baja tensión, etc....?

2. Trabajo de campo para determinar las especificaciones de la instalación a diseñar

2.1. Análisis de las piezas del último mes

En esta fase se analizarán los nestings correspondiente al último mes de trabajo (febrero). De aquí tenemos que conseguir una serie de datos que nos servirán de base para el desarrollo de nuestro proyecto. Estos datos son:

2.1.1. Porcentaje de piezas según las dimensiones:

PIEZAS DEL ULTIMO MES		
DIMENSIONES (mm)	NÚMERO DE PIEZAS	PORCENTAJE(%)
<100 x 100	4438	12,14%
Entre (100 x 100) Y (200 x 200)	12895	35,27%
Entre (200 x 200) Y (300 x 300)	4458	12,19%
Entre (300 x 300) Y (400 x 400)	4893	13,38%
Entre (400 x 400) Y (500 x 500)	874	2,39%
Entre (500 x 500) Y (600 x 600)	966	2,64%
Entre (600 x 600) Y (700 x 700)	587	1,61%
>700 x 700	7452	20,38%
TOTAL	36563	100,00%

Tabla 1 Número de piezas según las dimensiones

En la **Tabla 1** se pueden observar los porcentajes de las piezas fabricadas en el último mes en función de sus dimensiones.

No vamos a tener en cuenta las piezas de dimensiones menores 100 x 100 mm, debido a que las piezas con dimensiones menores de 100 x 100 mm presentan gran dificultad a la hora de manipularlas.

El estudio que vamos a realizar se centrará en el intervalo de dimensiones mayores de 100x100mm, esto corresponde un porcentaje del 79.62%.

2.1.2. Porcentaje de piezas según el tipo de material.

MATERIAL	NÚMERO DE PIEZAS	PORCENTAJE(%)
ALUMINIO	62	0,17%
BLANCA	26	0,07%
CORTEN	1212	3,31%
DECAPADA	515	1,41%
ESTRIADA	6	0,02%
GALVANIZADO	1529	4,18%
INOX BA	5	0,01%
INOX SB	3	0,01%
INOXIDABLE	214	0,59%
INOXIDABLE A321	8	0,02%
INOXIDABLE A321	60	0,16%
LAGRIMADA	184	0,50%
NEGRA	2501	6,84%
NEGRA S275	18318	50,10%
NEGRA S355	11034	30,18%
NEGRA S355NC	886	2,42%
TOTAL	36563	100,00%

Tabla 2 Porcentaje de piezas según el material

En la **Tabla 2** tenemos los porcentajes de las piezas del último mes en función del material de las piezas.

MATERIAL	PORCENTAJE(%)
ALUMINIO	0,17%
LAGRIMADA Y ESTRILLADO	0,52%
ACERO AL CARBONO	94,34%
ACERO INOXIDABLE	0,79%
GALVANIZADO	4,18%

Tabla 3 Número de piezas según el tipo de material

En la **Tabla 3** se hace una agrupación en función de la familia del material.

2.1.3. Tiempo medio de corte de una chapa de materia prima en función de su espesor.

Analizando las piezas del último mes hemos conseguido hacer una selección de nestings con unas dimensiones de chapa comprendidos entre [(2200-3000) x (1500-1520)] y [(6000) x (1500-1520)] (mm), para observar la variación del tiempo en función del cambio del espesor de la chapa a cortar.

(2200-3000) x (1500-1520) (mm)		
	TIEMPO	
ESPESOR	MINUTOS	SEGUNDOS
1	6	23,1
1,5	9	27,92
2	11	19,78
3	12	23,75
4	50	52,39
5	38	51,82
6	39	31,3
8	35	14,5
10	52	41,51
12	61	42,45
15	71	16,61
20	104	32,11

Tabla 4 tiempo de corte del Nesting en función del espesor

En la **Tabla 4** se representa el Tiempo que se tarda en cortar un Nesting según el espesor para unas dimensiones de chapa entre (2200-3000) x (1500-1520) (mm).

(6000) x (1500-1520) (mm)		
	TIEMPO	
ESPESOR	MINUTOS	SEGUNDOS
1	11	19,21
1,5	6	8,46
2	13	55,5
3	11	0,84
4	18	42,65
5	76	8,55
6	77	32,97
8	76	47,57
10	85	34,56
12	89	15,16
15	127	27,15
20	170	30,71

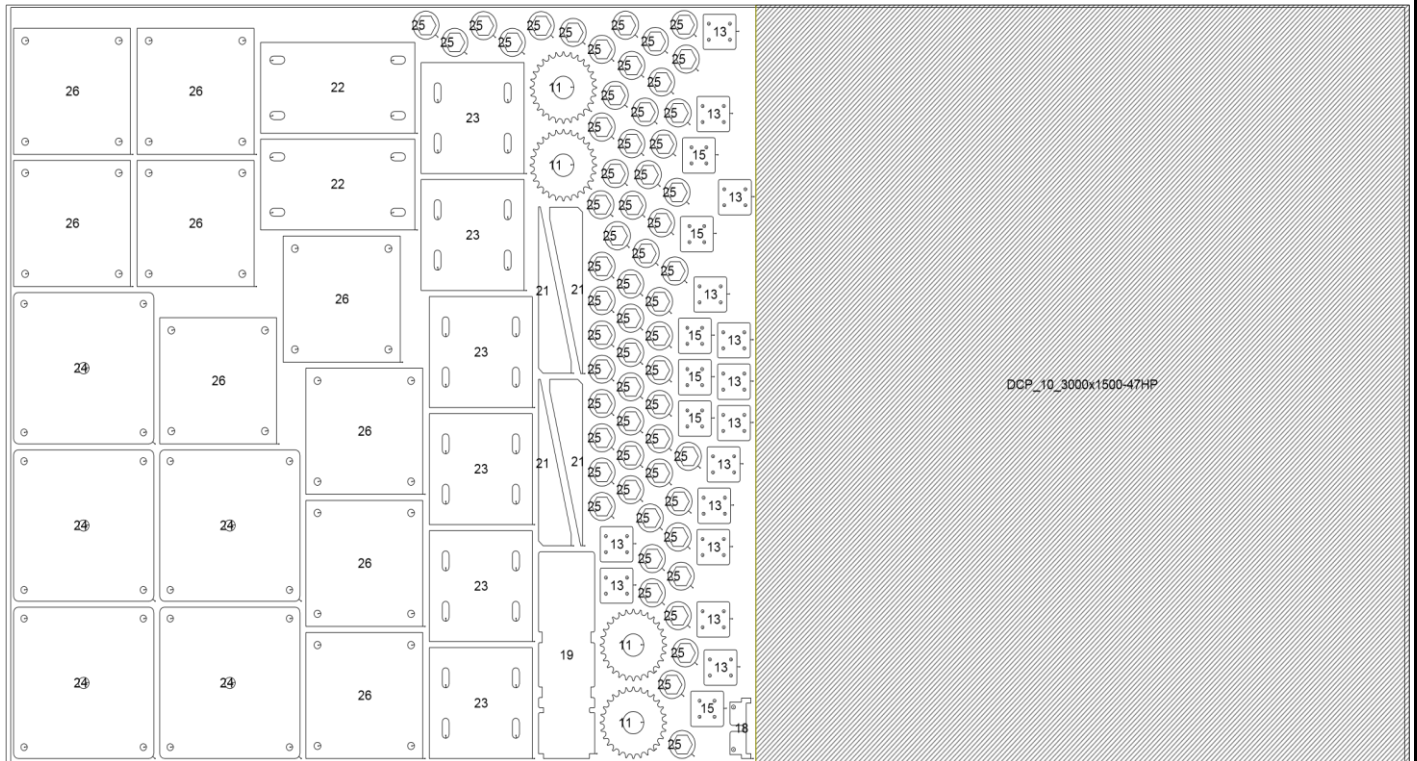
Tabla 5 tiempo de corte del Nesting en función del espesor

En la **Tabla 5** se representa el Tiempo que se tarda en cortar un Nesting según el espesor para unas dimensiones de chapa entre (6000) x (1500-1520) (mm).

Como era de esperar, se observa que conforme aumenta el espesor de la chapa aumenta el tiempo necesario para hacer el corte.

Sin embargo, en algunos casos podemos observar que al aumentar el espesor disminuye el tiempo necesario para hacer el corte como es el caso del espesor de 4 mm que tarda 50 min y para el espesor de 5mm disminuye el tiempo de corte de la chapa a 38 min, esto es debido a que el Nesting del espesor de 4 mm contiene unas piezas de compleja geometría, por lo tanto, la lente tiene mayor recorrido de corte a lo largo de la chapa.

En la figura 7 y figura 8 se puede apreciar como dos Nestings de dimensiones casi parecidas y un espesor igual, el tiempo total para realizar el corte varía de un Nesting a otro, esto es debido a la compleja geometría de las piezas.

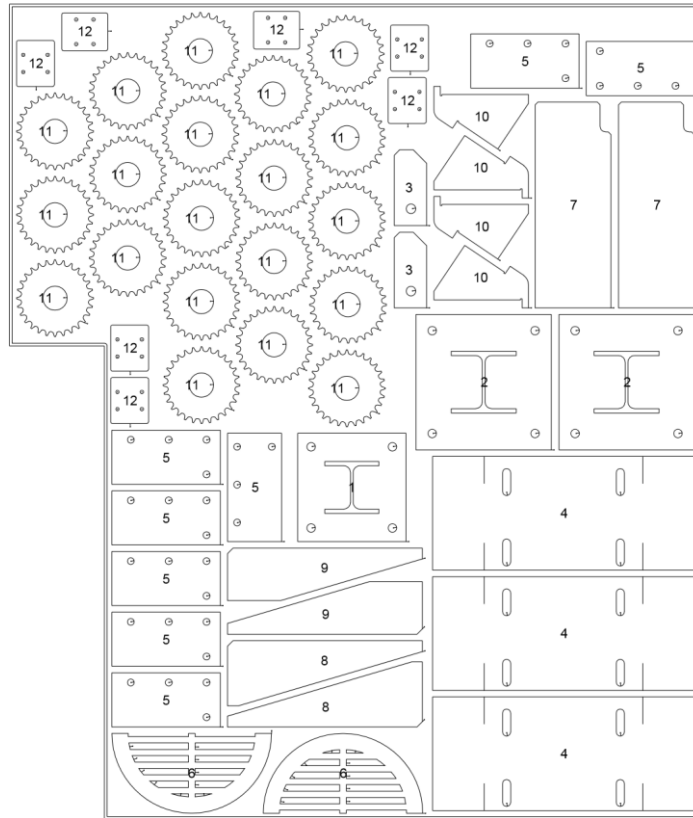


Distancia Focal: 0 Gas:O2 Tabla: T2D-5626

Máquina	Trumpf L3030 / Sinumerik 840D	Peso	372.036 kg
Material	DECAPADA	X	1599
Tiempo total	01:05:59.53	Y	1500
Proveedor		Aprov. (%)	42.869
Transportista		Retal (%)	80.228 53.433

Figura 7 Nesting 1 de espesor 10 mm

La **Figura 7** es el plano de un Nesting de espesor 10 mm y dimensiones de 1599 x 1500 mm, el tiempo que se tarda en realiza el corte es de 1:05:59,53 Horas.

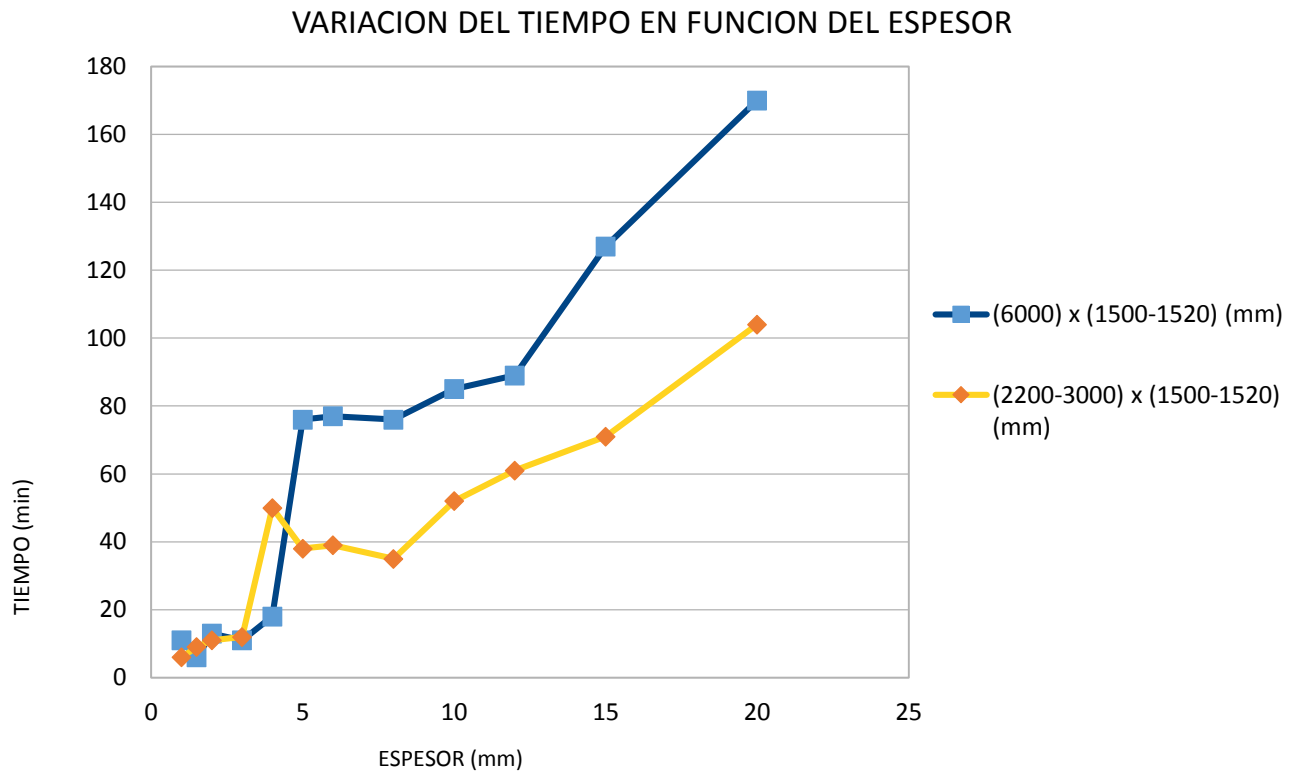


Distancia Focal: 0 Gas:O2 Tabla: T2D-5626

Máquina	Trumpf L3030 / Sinumerik 840D	Peso	146.763 kg
Material	DECAPADA	X	1271.4
Tiempo total	00:46:34.98	Y	1497.9
Proveedor		Aprov. (%)	85.438
Transportista	265460,74	Retal (%)	85.438 100

Figura 8 Nesting 2 de espesor 10 mm

La **Figura 8** es el plano de un Nesting de espesor 10 mm y dimensiones de 1271.4 x 1497.9 mm, el tiempo que se tarda en realiza el corte es de 46:34,98 Horas.



Grafica 1 variación del tiempo en función de la variación del espesor de la chapa a cortar.

La **Grafica 1** demuestra que la relación entre tiempo espesor no es lineal, sino que esta se dispara conforme aumenta el espesor.

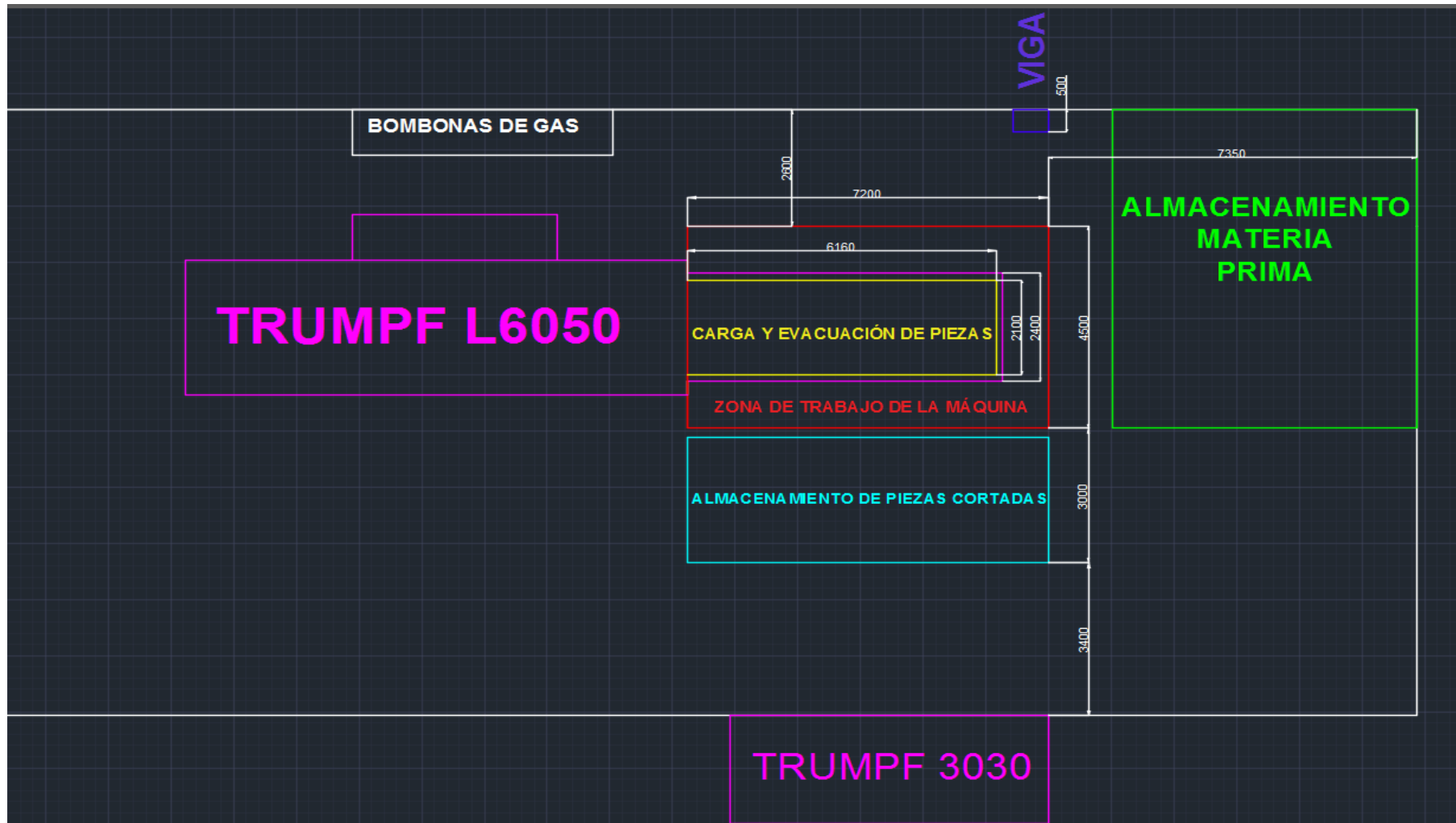
En la gráfica se puede observar que el tiempo de corte de una chapa depende del espesor de la chapa de materia prima, las dimensiones de la chapa y por último de la complejidad de la geometría de las piezas.

2.2. Estudio del lugar de trabajo

Como punto inicial al proyecto ha sido el estudio del lugar de trabajo en el que se encuentra la máquina de corte laser (Trumpf L6050), a la cual se quiere automatizar la evacuación de las piezas que corta.

Analizando el entorno de la maquina Trumpf l6050, la localización de la máquina, el espacio libre que tenemos, almacén de piezas cortadas, almacén de materia prima, mesa con chapa cortada y mesa con materia prima, se deduce las dimensiones y el posicionamiento de nuestro sistema de evacuación automática.

2.2.1. Dimensiones del lugar de trabajo



—Plano 1 plano del lugar de trabajo

El **Plano 1** demuestra las dimensiones de lugar de trabajo y su entorno.

2.2.2. Forma de trabajar

Se procede a realizar un estudio de la forma de trabajar. Mediante la observación de la forma de trabajar de los operarios, se ha podido observar las diferentes formas de cargar la materia prima en la máquina de corte por láser, y también la evacuación de las piezas cortadas.

2.2.2.1. ¿Cómo se carga la chapa de materia prima?

Para la carga de la materia primera se utilizan dos métodos, un sistema de ventosas o mediante unos ganchos, cuando el espesor de la chapa es inferior a 10mm se utiliza el sistema de ventosas, sin embargo, el gancho se utiliza para espesores mayores de 10mm como se puede observar en la figura10.

La capacidad de carga del sistema de ventosas planas es de 800 Kg, el de ventosas de esponja es de 1200 Kg y de los ganchos es de hasta 2000 Kg.

La empresa dota de dos grúas con diferentes sistemas de ventosas, el primer sistema de ventosas consta de 10 ventosas planas de diámetro 225mm cada una y el segundo sistema de ventosas está compuesto de 4 ventosas rectangulares de esponja de dimensiones 350x300mm.



Figura 9 carga de chapa de materia prima mediante sistema de ventosas de esponja.

En la **Figura 9** se puede observar cómo se colocan las ventosas rectangulares de esponja para hacer la carga de la chapa de materia prima.

El sistema de ventosas se acopla a uno de los dos puentes grúa que se encuentran en la zona de trabajo, los puentes grúas tienen una capacidad de carga respectivamente de 1000 Kg Y 6300Kg.



Figura 10 carga de chapa de materia prima en la máquina de corte laser.

En la **Figura 10** se puede observar cómo mediante un sistema de ventosas que se acopla a un puente grúa se carga la chapa de materia prima en la mesa de corte de la máquina TRUMPF L6050.



Figura 11 carga de chapa mediante el sistema de ventosas planas.

En la **Figura 11** se puede observar cómo se coloca el sistema de ventosa planas para la succión de la chapa de materia prima.

2.2.2.2. ¿Cómo se evacuan las piezas?

El láser tiene la ventaja de poder cortar virtualmente cualquier geometría. Sin embargo, después de terminar el corte por láser, los desechos interiores y exteriores permanecen sobre la mesa de trabajo junto con las partes terminadas.

La primera parte de la evacuación consiste en agarrar el extremo de la chapa con un sistema de sujeción y mediante el puente grúa levantarlo. Para poder extraer el esqueleto ⁽¹⁾ y con esto se consigue dejar la mesa de descarga libre de desechos.

⁽¹⁾ El esqueleto es lo que queda de la chapa cuando se extraen las piezas cortadas.



Figura 12 retirada del esqueleto

En la **Figura 12** se puede observar cómo se hace la extracción del esqueleto de la chapa cortada mediante ganchos para poder aislar las piezas a evacuar.

Los desechos interiores de la pieza se extraen mediante un martillo con una cabeza de goma o mediante un martillo y un cincel.



Figura 13 separar las piezas internas de los desperdicios.

En la **Figura 13** se puede observar cómo mediante un martillo y cincel se lleva a cabo la separación de los desechos interiores de la pieza a base de golpe.

La evacuación de las piezas cortadas se hace de forma manual y cuando la pieza a evacuar tiene unas dimensiones o peso considerable se utiliza un puente grúa para evacuar la pieza.

3. Análisis de alternativas

3.1. SortMaster



Figura 14 robot SortMaster. (TRUMPF, 2016)

La **Figura 14** corresponde al robot SortMaster de la misma marca que nuestra máquina de corte por láser TRUMPF L6050.

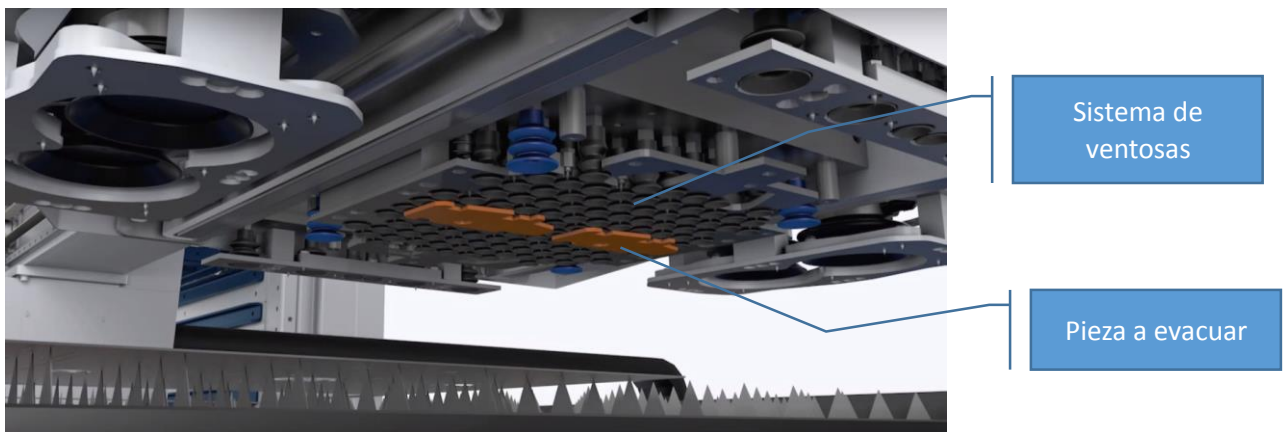


Figura 15 herramienta del robot SortMaster. (TRUMPF, 2016)

La **Figura 15** se observa la herramienta del robot SortMaster que es un sistema de ventosas, se observa que solo las ventosas que están en contacto con la pieza son las que se activan.

La compañía (Trumpf) ha creado un sistema de clasificación completamente automatizado de las piezas evacuadas. Se trata de un robot llamado SortMaster.

El SortMaster permite la retirada de piezas individuales directamente del cambiador de bandejas. Las piezas pequeñas se expulsan a recipientes y las de mayor tamaño se colocan y clasifican sobre pallets o carros (de almacén). Gracias a las pinzas de succión, controlables

individualmente, puede transportarse una gran variedad de piezas. Se dispone, además, de opciones adicionales para ampliar el campo de aplicación.

- Manejo cuidadoso del material
- Clasificación automática de las piezas
- Alta rentabilidad

Características del robot:

- Formato de chapa longitud x anchura: 4000 mm x 2000 mm
- Peso máx. de la pieza: 35 kg
- Tamaño mín. de la pieza: 30 mm x 80 mm
- Tamaño máx. de las piezas: 600 mm x 1500 mm (TRUMPF, 2016)

3.1.1. Conclusión

Después de observar el funcionamiento del robot SortMaster se ha podido extraer alguna información valiosa para el sistema que diseñaremos posteriormente.

La herramienta del robot está constituida por un sistema de ventosas de diferentes tamaños, estas ventosas se activan y se desactivan en bloques, además, el sistema SortMaster dota de un bloque central de ventosas con capacidad de activar solo las ventosas que están en contacto con la pieza a evacuar, como se puede observar en la figura13.

3.2. Manipulador automático LVD



Figura 16 Robot FA-P de la marca LVD. (lvdgroup, 2016)

La **Figura 16** es una foto del robot FA-P de la marca LVD que realiza la carga y descarga de piezas de forma automática.

LVD anuncia FA-P; Automatización Flexible de piezas. Ofrece carga y descarga dinámicas, selección de piezas inteligente y una gran área.

Selección y apilado avanzado de piezas

FA-P carga chapas de hasta 3050 x 1525 mm y espesores de material de hasta 4 mm desde dos mesas lanzaderas, con una capacidad máxima de 3000 kg.

El sistema de automatización puede manejar piezas desde 200 x 100 mm hasta grandes tamaños de chapa.

Gran área de apilado

Una gran área de apilado de 8 m² ofrece espacio para 8 pallets. Un sensor único de distancia láser mide la altura del pallet y de las piezas apiladas. Después de esta medición, las ventosas posicionan las piezas suavemente uno encima de otro, formando pilas perfectas. No se requiere ninguna operación manual complementaria para intercambiar los pallets de la zona de apilado. Los esqueletos se retiran rápidamente de la máquina en un pallet. De esta manera, el tiempo de descarga se reduce significativamente.

Selección y clasificación con el control TOUCH-A

Basado en la lista de tareas y en la altura medida de apilado, el software de control TOUCH-A selecciona y clasifica cada pieza en el pallet asignado. Se puede iniciar una nueva tarea con pallets parcialmente llenos, provistos de tareas anteriores. Además, TOUCH-A permite al operario modificar la clasificación, en base a la configuración de los pallets. El control cuenta y valida cada pila de piezas al finalizar la tarea. (lvdgroup, 2016)

3.2.1. Conclusión

El robot FA-P de la marca LVD dota de grandes características que le hacen encajar con nuestras necesidades.

Se ha podido deducir las siguientes cualidades que nos servirán en el diseño posterior que realizaremos.

El robot FA-P consta de dos brazos de agarre independientes se posicionan automáticamente para agarrar la pieza. Las ventosas están activadas siguiendo la configuración de Nesting. Las ventosas pequeñas con poca separación entre ellas son utilizadas para piezas pequeñas, mientras que las ventosas más grandes son utilizadas para piezas más grandes y para cargar chapas completas.

3.3. Manipulación de material robotizado PICK-SORT.



Figura 17 Robot V-Series 1525 Pick-Sort. (Ivdgroup, 2016)

La **Figura 17** es una demostración del robot PICK-SORT con capacidad de carga y descarga automática.

El sistema robótico Pick-Sort carga chapas de gran tamaño y recoge y apila piezas independientes de un tamaño hasta 1524 x 3048. Sistema de descarga que retira y apila estructuras esqueléticas o chapas mecanizadas.

El sistema PICK-SORT:

- Aumenta el rendimiento de la máquina
- Descarga y apila piezas acabadas tan pequeñas como de 150 x 400 mm
- Manipula piezas de un peso máximo de 110 kg
- Proporciona una gran integración y control de los datos de proceso

3.3.1. Conclusión

Este Sistema de evacuación es muy bueno debido al poco espacio que ocupa, sin embargo, tiene menor flexibilidad y alcance para poder evacuar las piezas de nuestra máquina en el que las dimensiones del Nesting a evacuar pueden llegar a ser de 6000x2000, además de esto, las dimensiones mínimas de la pieza que puede manipular son mayores que las dimensiones mínimas de la pieza que tiene que evacuar nuestro sistema.

3.4. ASTES 4 Sort (A4S)



Figura 18 Sistema de evacuación de piezas ASTES 4 Sort (A4S). (astes4, 2014)

La **Figura 18** representa el sistema de evacuación de piezas por medio de cuatro pistones que están acoplados a una guía, que se encuentran a un nivel del suelo.

ASTES 4 Sort (A4S) es un sistema automático que puede seleccionar, manejar y apilar la más amplia gama de materiales cualquiera que sea la forma del corte. A4S es la combinación de los procesos tecnológicos realizados por software más avanzados en el ámbito del manejo y recogida, que pueden garantizar la flexibilidad, productividad y repetición, integrados con sistemas de gestión de la producción.

Programación: La selección de la herramienta (o herramientas) para los puntos de cogida y colocación de la pieza en la zona de almacén se realiza de forma automática. Aun así, se puede acceder a estos datos y modificarlos para adaptarlos a requisitos de fabricación específicos.

Control activo: Un programa informático permite que la complejidad geométrica, el peso y el grosor de las piezas de trabajo estén “activamente controlados”. Esto contribuye a garantizar la retirada de la parrilla de todas las piezas cortadas con láser, que pueden recogerse utilizando incluso una combinación de las 4 pinzas.

Herramientas de sujeción: El concepto de herramientas de cogida intercambiables es uno de los puntos principales de la patente de A4S. Gracias a la combinación de un ingenioso sistema de recogida electroneumática, estas herramientas garantizan la flexibilidad necesaria para una descarga y apilado fácil de la más amplia gama de piezas de trabajo. (astes4, 2014)

3.4.1. Conclusión

- Analizando los diferentes sistemas de evacuación que hemos analizado, este es el que más cumple con nuestras restricciones, sin embargo, no se adapta a nuestro entorno de trabajo debido a que tiene grandes dimensiones y las guías externas del ASTES 4 Sort (A4S) dificultarán la carga de materia prima, cuando se hace la carga por medio de la grúa el pandeo es inevitable, por lo tanto, la probabilidad de un posible colisión de la materia prima que eleva la grúa con las guías del ASTES 4 Sort (A4S) es grande.
- De este sistema de evacuación automática de las piezas se ha podido extraer información valiosa como puede ser:
 - I. El sistema emplea un programa que es capaz de generar el centro de gravedad en función de la geometría, el peso y el grosor de la pieza, esto garantiza la correcta evacuación de la pieza.
 - II. el sistema usa 4 brazos independientes, con esto se garantiza un tiempo mínimo de evacuación de las piezas.
 - III. El sistema utiliza una combinación de electroimanes y ventosas, debido a que los electroimanes tienen una capacidad de carga que puede llegar a ser 25 veces mayor que la carga máxima de la ventosa.

3.5. Bystronic BySort



Figura 19 Sistema de evacuación Bystronic BySort. (bystronic, 2016)

La **Figura 19** demuestra el sistema de evacuación y clasificación de piezas por medio del Bystronic BySort.

El sistema BySort se puede situar tanto delante como detrás de la mesa de cambio. Retira, clasifica y apila las piezas cortadas por el láser.

Características:

- Dimensión nominal de la chapa 3000 x 1500 mm.
- Espesor de la plancha de chapa recomendado (clasificar) 1,5–10 mm.
- Tamaño mínimo de la pieza 150 x 150 mm.
- Tamaño máximo de la pieza 1800 x 1200 mm.
- Peso máximo de la pieza 50 kg.

(bystronic, 2016)

3.5.1. Conclusión

Como ventaja que diferencia este sistema de los analizados anteriormente, es que, este sistema tiene una gran flexibilidad, por el que, se puede situar tanto adelante como atrás de la mesa de cambio

3.6. Starmatik

Starmatik es el sistema de evacuación de las piezas cortadas por máquinas de corte láser, en el que un robot apoyado sobre una corredera realiza la tarea de descarga de las piezas utilizando como herramienta de manipulación de las piezas un sistema de ventosas.

El robot dota de una herramienta de manipulación en tres dimensiones diferentes, esto le capacita a evacuar diferentes dimensiones de piezas.

El cambio de herramienta se realiza de una forma automática, rápida y sencilla en función de las dimensiones de la pieza a evacuar. (starmatik, s.f.)

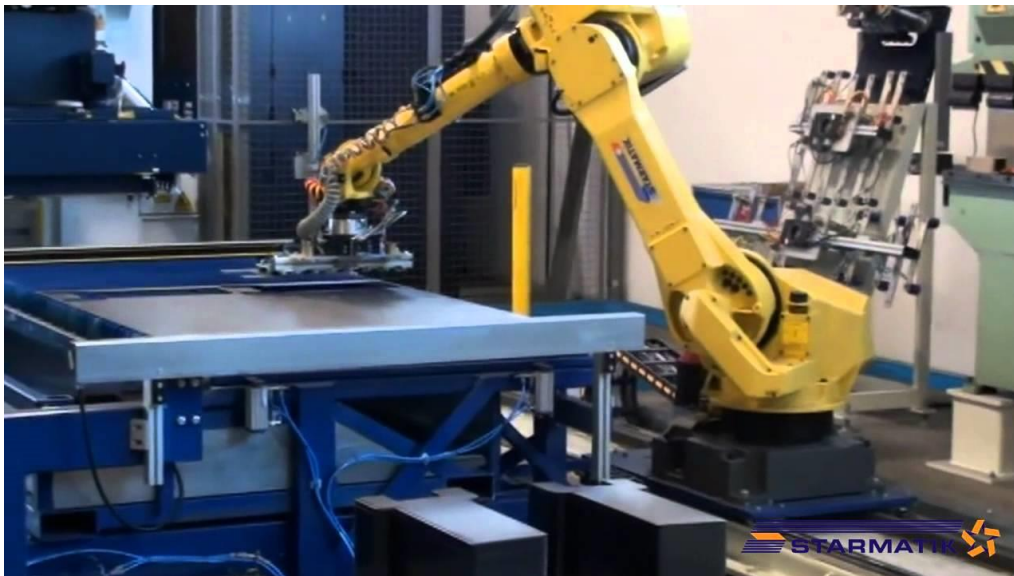


Figura 20 Sistema de evacuación Starmatik. (starmatik, s.f.)

La **Figura 20** demuestra el sistema de evacuación y clasificación de piezas por medio de un robot Fanuc M-710iC 50.

3.6.1. Conclusión

El siguiente sistema de evacuación es el que más se adapta a nuestro entorno de trabajo debido a las siguientes características:

- Ocupa poco espacio y tiene gran flexibilidad y mayor recorrido para poder almacenar las piezas.
- Los robots a día de hoy ofrecen grandes cualidades como son, gran velocidad de movimiento, alta precisión, bajo coste, alta adaptación al entorno de trabajo...
- Este sistema utiliza 3 herramientas de diferentes dimensiones, con esto se garantiza dimensionar la herramienta en función de las dimensiones de la pieza.
- El sistema dota de un cambio de herramienta rápido, sencillo, automático y seguro.

3.7. Comparación de los diferentes sistemas de evacuación

Marca	Modelo	Carga máxima (Kg)	Dimensiones máximas de la pieza (mm)	dimensiones mínimas de la pieza (mm)	Dimensiones máximas de la chapa (mm)	Herramienta de sujeción	Carga y descarga	Cambio de herramienta	Características especiales
Trumpf	SortMaster	35	600x1500	30x80	4000x2000	Ventosas y Microventosas	Descarga	Si	<ul style="list-style-type: none"> La herramienta de sujeción vibra en cuanto se pega a la pieza para despegar la pieza del esqueleto. La herramienta de sujeción de piezas pequeñas cambia de tamaño para poder evacuar piezas de tamaño medio
LVD	FA-P	-	-	200x100	3050x1525	Ventosas	Carga y descarga	No	<ul style="list-style-type: none"> La activación de las ventosas es en función de la pieza a evacuar. El sistema dota de un sensor de altura para apilar las piezas
LVD	PICK-SORT	110	-	150x400	1524x3048	Ventosas	Carga y descarga	No	-
ASTES 4 Sort	(A4S)	>100	>700x700	<100x100	-	ventosas. Microventosas. Imanes	Carga y descarga	Si	<ul style="list-style-type: none"> Software capaz de detectar el centro de gravedad de la pieza. Uso de electroimanes que tienen una capacidad de carga casi 25 veces mayor que las ventosas
Bystronic	BySort	50	1800x1200	150x150	3000x1500	Ventosas	Carga y descarga	No	-
Starmatik	-	50	-	-	4000x2000	Ventosas	Descarga	Si	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de herramienta rápido.

Tabla 6 Características de los sistemas de evacuación analizados

La **Tabla 6** representa las diferentes características de los sistemas de evacuación que se han analizado anteriormente, las características específicas destacan un sistema de otro y servirán de apoyo para el sistema que vamos a diseñar.

3.8. Conclusión

Después del estudio de mercado de los diferentes sistemas de evacuación de piezas, además del análisis del entorno de trabajo, forma de evacuar las piezas y el método de la carga de la materia prima, procederemos a diseñar el sistema de evacuación. Será preciso definir y seleccionar la arquitectura de control, tanto hardware como software, que todo sistema flexible de fabricación debe incluir.

El sistema de evacuación tiene que ser un robot apoyado en una corredera que le permite el desplazamiento lineal para poder recorrer los 12 metros de longitud desde el extremo de la mesa hasta el otro extremo del almacén. El empleo del robot con capacidad de desplazamiento lineal es particularmente ventajoso debido a que éste debe cubrir un elevado campo de acción. El dotar al robot de este grado de libertad adicional permite que el robot llegue con la orientación adecuada a todos los puntos de proyección

El robot debe disponer de un sistema de manipulación de piezas por medio de microventosas, para así poder manipular simultáneamente material magnético y no magnético.

Nuestro sistema de evacuación se le proporciona tres herramientas con diferentes dimensiones para poder adaptarse a la pieza a evacuar.

4. Diseño de nuestro sistema de evacuación

Una vez que se ha hecho un análisis exhaustivo de los diferentes sistemas de evacuación de piezas que hay en el mercado y apoyándonos en el plano de nuestro entorno de trabajo donde se puede apreciar el espacio libre del que disponemos, la evacuación de piezas será mediante un sistema robótico.

Nuestro sistema de evacuación consistirá en un robot apoyado sobre una corredera que le permitirá tener movimiento lineal desde la mesa donde se posicionan las piezas extraídas de la máquina TRUMPF L6050 hasta el lugar de almacenamiento de las piezas, la herramienta que se le acopla a la muñeca del robot será un sistema de ventosas compuesto de tres herramientas con un cambio de herramienta rápido, sencillo, automático y seguro.

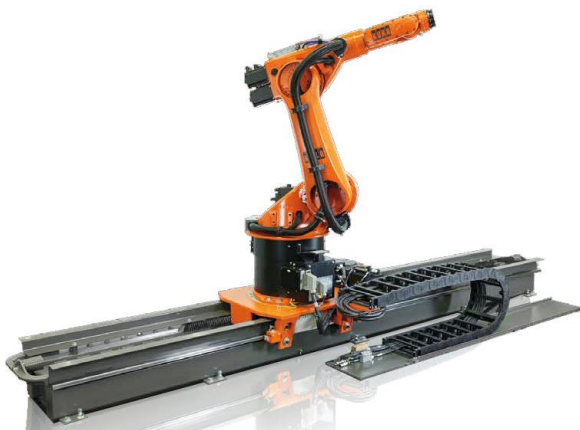


Figura 21 Robot apoyado sobre corredera. (KUKA, www.kuka-robotics.com, s.f.)

La **Figura 21** representa el esquema de un robot industrial apoyado sobre una corredera que le permite el movimiento lineal.

5. Selección de Robot

A continuación, se procederemos a la selección de las diferentes partes que componen nuestro sistema (corredora y robot).

5.1. Definición de Robot Industrial

Cuando se habla de robots uno imagina una maquina con características propias del ser humano, pero eso solo es una parte de la robótica.

El robot industrial que se conoce y se utiliza en nuestros días nace con el objetivo de aumentar la productividad, mejorar las piezas fabricadas y evitar realizar trabajos tediosos o peligrosos para el hombre. George Devol es considerado el padre de la Robótica Industrial, y a él se debe la patente de un manipulador programable en 1956, que fue el propulso de los robots industriales. A partir de ahí se fueron instalando en las fábricas cada vez más robots dedicados a diversas funciones.

El robot industrial consta de un brazo mecánico al que se acoplan diversas herramientas según la tarea, y es controlado por un sistema de basado en un procesador. Los más sofisticados poseen sensores para detectar parámetros del entorno y alterar su funcionamiento en función de la información recibida. Trabajos que hace poco era inconcebible que los realizase una máquina, hoy los efectúa un robot con rapidez y precisión. La industria que más robot emplea es la del automóvil.

(Jose Maria Angulo Usategui, 2005)

5.2. Características a considerar en la elección de un robot

A pesar de que los robots industriales son máquinas de tipo general para aplicaciones multifuncionales, se debe proceder a la selección del tipo más adecuado. Dentro del amplio mercado de robots existente, se escogerá aquel que mejor responda a las características y necesarias, además de, buscando siempre el adecuado compromiso entre precio y prestaciones.

Hay que tenerse en cuenta algunos de las siguientes condiciones:

5.2.1. Zona de trabajo

Es el volumen espacial queda definido por el conjunto de puntos al que puede llegar el extremo del robot. Este volumen queda definido por el tamaño, forma y tipo de eslabones que construyen al robot.

5.2.2. Grados de libertad

El número de grados de libertad (GDL) con que cuenta un robot determina la accesibilidad de éste y su capacidad para orientar su herramienta terminal. En la mayoría de los robots industriales el número de grado de libertad coincide con el número de articulaciones del robot.

La elección del número de grados de libertad necesarios viene determinada por el tipo de aplicación que desempeñara el robot.

En general, hay que considerar que el aumento del número de grados de libertad lleva parejo un aumento del coste del robot.

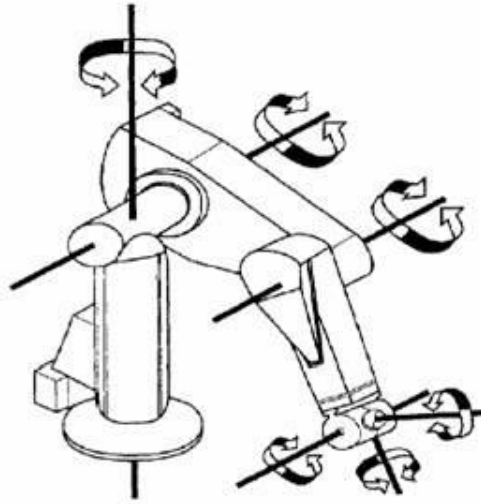


Figura 22 Grados de libertad de un robot

La **Figura 22** demuestra los grados de libertad de un robot que corresponden a las articulaciones que tiene el robot.

5.2.3. Precisión, repetibilidad y resolución

Las ventajas del robot frente a otras máquinas en muchas de las aplicaciones actuales se basan, además, de la flexibilidad y velocidad, en el bajo error de posicionamiento con el que realizan su trabajo. Para la definición de este error es necesario tener en cuenta tres conceptos complementarios entre sí, como son: la precisión, la repetibilidad y la resolución. De entre los tres, el dato normalmente suministrado por los fabricantes es el de repetibilidad y éste es el utilizado a la hora de seleccionar un robot u otro por su exactitud.

- **Precisión**

Distancia entre el punto programado (normalmente de manera textual) y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores en la calibración del robot, deformaciones permanentes por origen térmico y dinámico, errores de redondeo en el cálculo (puntos singulares), errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot, etc.

- **Repetibilidad**

Radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir desde el mismo origen al mismo punto de destino programado, con condiciones de velocidad, carga, temperatura, etc., iguales. Normalmente, se considera como repetibilidad la media de las distancias al punto medio alcanzado más tres veces la desviación estándar de dichas distancias. El error de repetibilidad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas (backlash). Los valores normales de error de repetibilidad de robots industriales comerciales están entre los 0,5 y los 0,01 milímetros.

- **Resolución**

Mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control del robot. Su valor está limitado por la resolución de los captadores de posición y convertidores A/D y D/A, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU, por los elementos motrices si éstos son discretos (motores paso a paso, sistemas neumáticos todo nada, etc.) y por problemas en el sistema mecánico de transmisión (rozamientos, histéresis, zonas muertas).

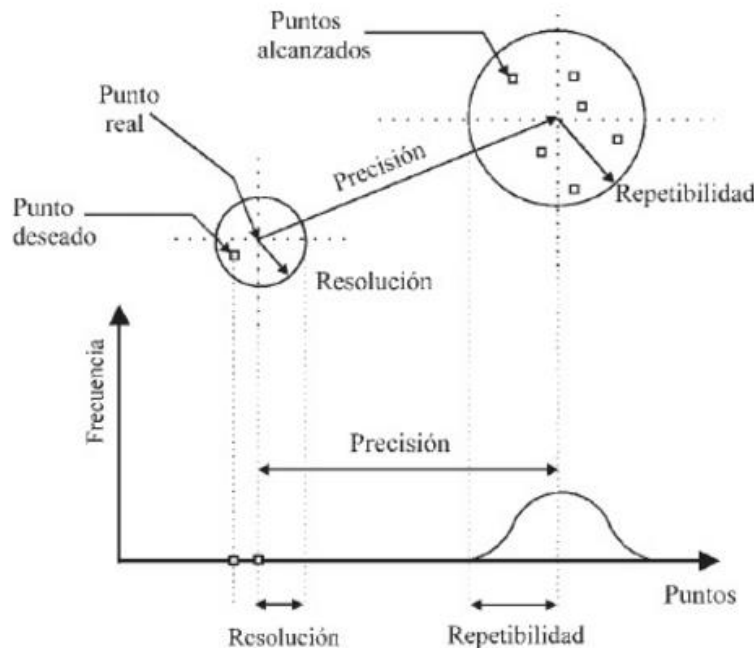


Figura 23 Visualización de los conceptos de resolución, precisión y repetibilidad

Mediante la **Figura 23** se puede hacer una idea de cómo la resolución, precisión y repetibilidad están relacionados entre ellos.

5.2.4. Velocidad

la velocidad a la que puede moverse un robot y la carga que transporta están inversamente relacionados. La velocidad de movimiento de un robot puede darse por la velocidad de cada una de sus articulaciones o por la velocidad media de su extremo, siendo esta última más útil para el usuario, pero más imprecisa. El valor de la velocidad nominal de movimiento de un robot es un dato relevante para el cálculo de los tiempos de ciclo, sobre todo en robots destinados a tareas de manipulación o ensamblaje. En nuestro caso además de las velocidades de los ejes del robot hay que tener en cuenta de la velocidad de la corredera que realiza el movimiento lineal del robot.

5.2.5. Capacidad de carga

Al evaluar la carga a manipular por el robot debe considerarse el peso de las piezas a transportar y el propio peso de la herramienta o pinza que emplee el robot colocada sobre la muñeca (en muchas ocasiones superior al de los propios objetos). Se debe tener en cuenta, además de la carga, el momento que la pieza genera en el extremo del robot. Para ello el fabricante puede proporcionar un cuadro en el que se indica la disminución de la posible carga a transportar, sin disminuir prestaciones, a medida que el centro de gravedad de la misma se

aleja del centro de la muñeca.

5.2.6. Sistema de control

La potencia de la unidad de control del robot determina en gran medida sus posibilidades. Las características del control del robot hacen referencia entre otros aspectos a sus posibilidades cinemáticas (tipo de trayectorias) y dinámicas (prestaciones dinámicas del robot), a su modo y capacidades de programación (guiado o textual, número de puntos o KB de memoria de usuario), a sus capacidades de comunicación (Entradas-Salidas digitales, comunicaciones de datos de acuerdo a estándares como RS232, TCPIP, etc.).

5.2.7. Actuadores

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Los primeros robots industriales utilizaban actuadores hidráulicos para mover sus elementos. De manera general, los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. En la actualidad se puede afirmar que la totalidad de los Robots industriales utilizan actuadores eléctricos.

5.2.7.1. Actuadores neumáticos

En ellos la fuente de energía es aire a presión entre 5 y 10 bar. Existen dos tipos de actuadores neumáticos:

- Cilindros neumáticos.
 - Motores neumáticos (de aletas rotativas o de pistones axiales).
1. Motor de paleta
 2. Motor de pistones axiales
 3. Actuador rotativo de tipo Piñón-cremallera

En los cilindros neumáticos se consigue el desplazamiento de un émbolo encerrado en un cilindro, como consecuencia de la diferencia de presión a ambos lados del cilindro.

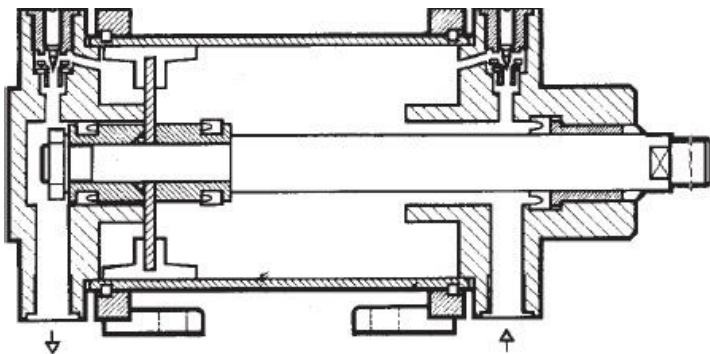


Figura 24 Esquema de cilindro neumático de doble efecto

En la **Figura 24** se puede observar el esquema de un cilindro de doble efecto y la entrada y salida del aire que genera la diferencia de presión.

En los motores neumáticos se consigue el movimiento de rotación de un eje mediante airea

presión. Tenemos tres tipos diferentes de motores neumáticos:

En los motores de aleta sobre el rotor excéntrico están dispuestas las ale-tas de longitud variable. Al entrar aire a presión en uno de los compartimentos formados por dos aletas y la carcasa, éstas tienden a girar hacia una situación en la que el compartimiento tenga mayor volumen.

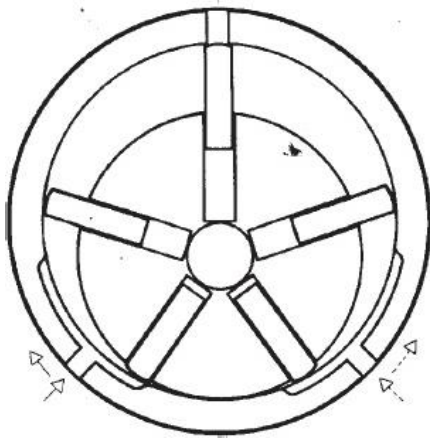


Figura 25 Motor de paleta

En la **Figura 25** se puede observar el esquema del funcionamiento de un motor de paleta.

Los motores de pistones axiales tienen un eje de giro solidario a un tambor que se ve obligado a girar por las fuerzas que ejercen varios cilindros, que se apoyan sobre un plano inclinado.

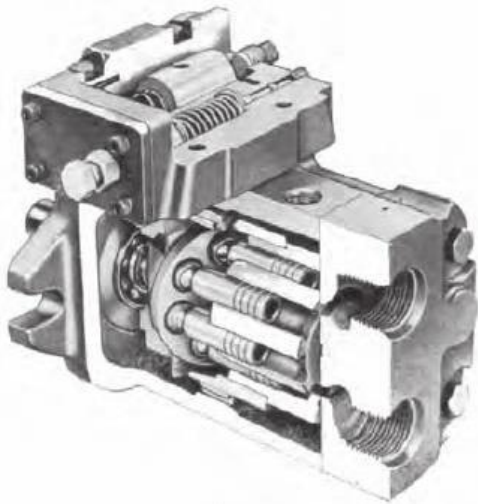


Figura 26 Motor de pistones axiales

En la **Figura 26** se puede observar el esquema de las partes que componen el motor de pistones axiales.

Otro método común, y más sencillo de obtener movimientos de rotación a partir de actuadores neumáticos, se basa en el empleo de cilindros cuyo émbolo se encuentra acoplado a un sistema de piñón-cremallera.

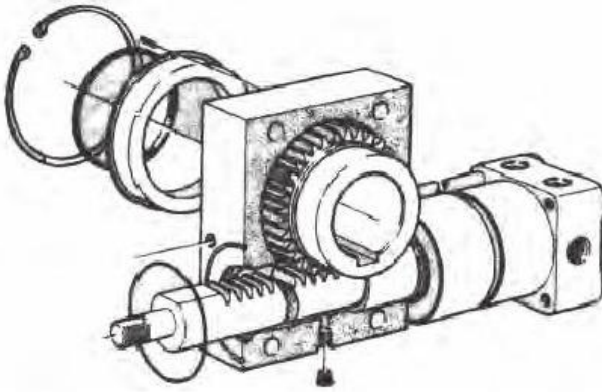


Figura 27 Actuador rotativo de tipo Piñón-cremallera

En la **Figura 27** se puede observar el esquema del funcionamiento de un sistema de Piñón-cremallera.

5.2.7.2. Actuadores hidráulicos

Este tipo de actuadores no se diferencian funcionalmente en mucho de los neumáticos. En ellos en vez de aire, se utilizan aceites minerales a una presión comprendida normalmente entre los 50 y 100 bar, llegándose en ocasiones a superar los 300 bar.

5.2.7.3. Actuadores eléctricos

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (CC).

Han sido durante mucho tiempo los más utilizados, debido a su facilidad de control. La necesidad de mantenimiento, derivada del uso de las escobillas, y las limitaciones de par, motivadas por el riesgo de un sobrecalentamiento, han hecho que se haya tendido a su sustitución por motores de alterna o motores sin escobillas.

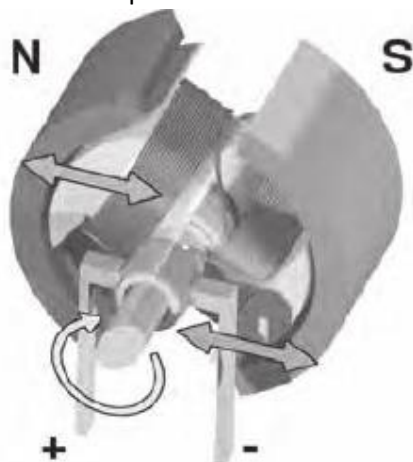


Figura 28 Motor (CC)

En la **Figura 28** se muestra un esquema de un motor DC, en el que se pueden apreciar sus distintos elementos.

- Motores de corriente alterna (CA).

Este tipo de motores no ha tenido aplicación en el campo de la robótica hasta hace unos años, debido fundamentalmente a la dificultad de su control. Sin embargo, las mejoras que se han introducido en las máquinas síncronas hacen que en la actualidad sea la alternativa más utilizada en los robots industriales.

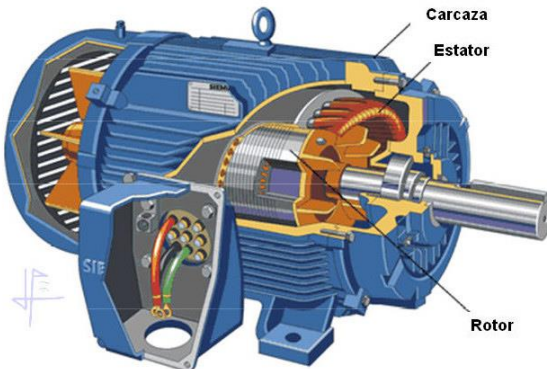


Figura 29 Motor (CA)

LA **Figura 29** se trata de un esquema de motor (CA) en la que se puede observar algunas partes del motor.

- Motores paso a paso.

Los motores paso a paso no han sido considerados, generalmente, dentro de los accionamientos industriales, debido principalmente a que los pares para los que estaban disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran grandes. Esto limitaba su aplicación a controles de posición simples.

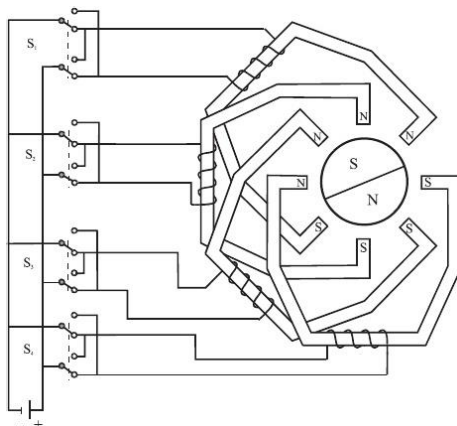


Figura 30 Motor paso a paso

LA **Figura 30** se trata de un esquema de motor paso a paso de imanes permanentes con cuatro fases.

(Antonio Barrientos, 1997)

5.3. Grandes marcas de robots



5.4. Velocidad mínima del robot.

Además de los estudios realizados anteriormente de las dimensiones de las piezas, tiempo medio de los Nesting, es necesario hacer un estudio de la velocidad media que tiene que tener el robot, con el fin de tener un filtro en cuanto a la selección de robot.

Se hace un estudio aproximado de la velocidad mínima que tiene que tener nuestro diseño de evacuación.

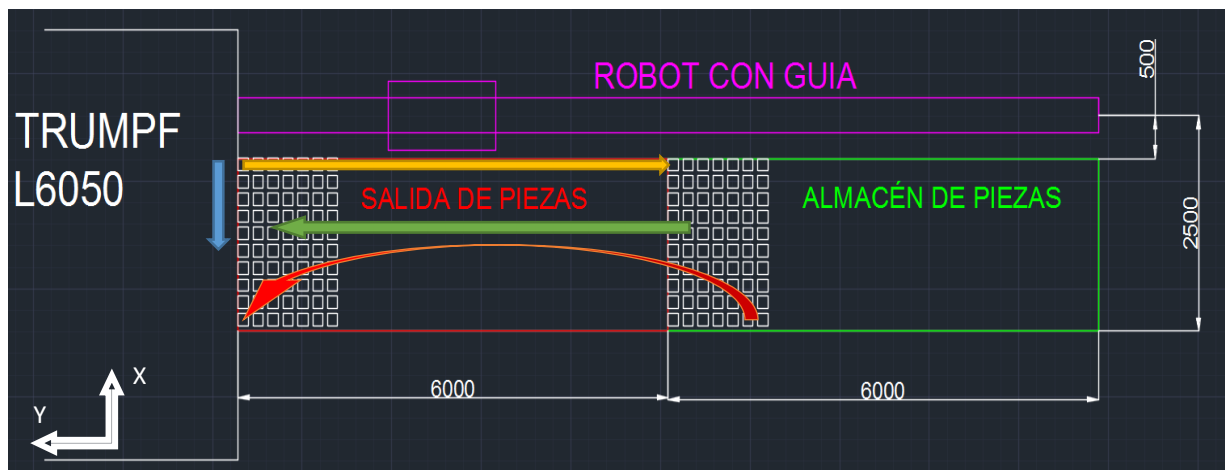
Se cogen 33 Nestings de un espesor medio que en nuestro caso hemos seleccionado espesor de chapa de 8mm, se hace una media de las piezas del Nesting y una media del tiempo que tarda la máquina de corte por láser en ejecutar dicho corte

NUMERO MEDIO DE PIEZAS POR NESTING (8mm)	
NUMERO DE PIEZAS	TIEMPO (min)
123	88
76	47
189	144
23	35
107	45
206	93
27	32
33	11
40	14
44	15
9	3
180	76
7	8
7	6
3	6
9	3
90	57
91	61
94	49
84	139
215	134
11	5
208	144
12	16
3	3
11	13
14	15
16	18
3	1
112	79
32	21
164	44
18	26
26	15
MEDIA	69,3030303 44,42424242

Tabla 7 Número de piezas medio por chapa y tiempo medio del corte de la chapa.

En la **Tabla 7** representa número medio de piezas que contiene una chapa de 8mm de espesor y el tiempo medio para hacer el corte del Nesting.

- **Espesor medio**= 8mm
- **Media de piezas**= 69,3030 piezas por Nesting \approx 69 piezas.
- **Tiempo medio**= 44,4242 min por Nesting
- **Dimensión media de la pieza**= 200x200 mm (mediante el estudio realizado anteriormente del porcentaje de piezas cortadas en el último mes, según las dimensiones de la pieza, las dimensiones con mayor porcentaje con 35,27% son las piezas que se encuentran entre 100x100 y 200x200 mm)



Plano 2 Recorridos del Robot en la evacuación de las piezas

En el **Plano 2** se puede observar los diferentes recorridos que hace el robot a la hora de evacuar y ordenar las piezas.

- Flecha amarilla:** recorrido de ida del Robot, eje (X)= 6m
Flecha verde: recorrido de vuelta del Robot, eje (X)= 5,8m
Flecha roja: salto de fila= 7,4 m
Flecha azul: Movimiento del Robot en el eje (Y)

Suponiendo que todas las piezas son diferentes por el que hay que almacenar por separado cada pieza, además de esto, suponiendo que la separación entre las diferentes piezas es nula, se hace el siguiente cálculo para poder tener una aproximación a la velocidad media a la cual se tiene que mover el robot.

El robot tiene que hacer 69 movimientos de ida, 60 movimientos de vuelta y 9 saltos de fila. Situación de la primera pieza en función del eje (Y) = 2.2 (metros). distancia en el eje (Y) entre filas= 0,2 (metros).

Movimiento en el eje X= $6(\text{metros}) \times 69(\text{movimientos de ida}) + 5,8(\text{metros}) \times 60(\text{movimientos de vuelta}) + 7,4(\text{metros}) \times 9(\text{saltos de fila}) = \mathbf{828,6 \text{ (metros)}}$

Movimiento en el eje Y= $[2,2(\text{metros primera pieza}) + 0,2(\text{metros}) \times 10(\text{filas})] \times 2(\text{movimiento ida y vuelta}) = \mathbf{8,4 \text{ (metros)}}$

Distancia total recorrida por el robot= *movimiento en el eje (X) + Movimiento en el eje (Y) =*
 $828,6 + 8,4 = \mathbf{837 \text{ (metros)}}$

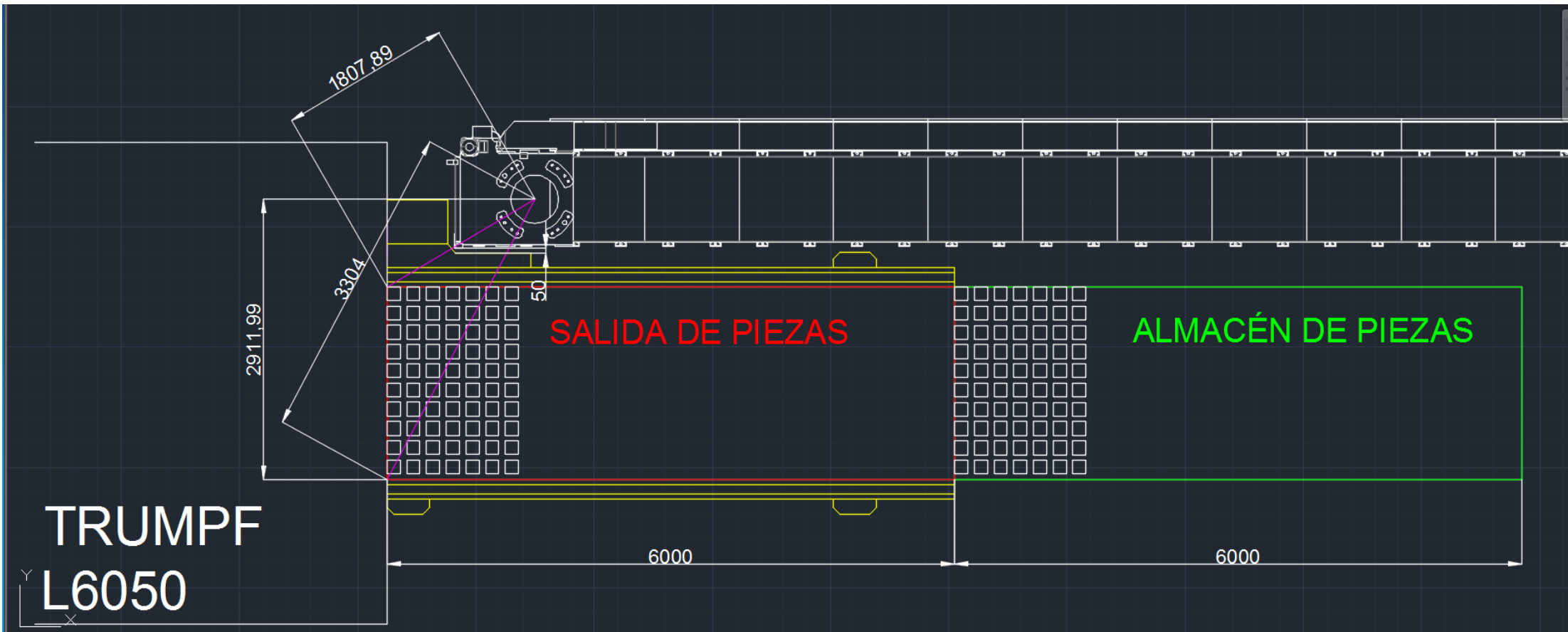
Velocidad media= *distancia total recorrida por el Robot/tiempo medio Nesting (8mm) =*
 $837(\text{metros})/44,42(\text{minutos}) = \mathbf{18,84(\text{metros/minuto})} = \mathbf{0,314(\text{metros/segundo})}$

Teniendo en cuenta la velocidad media, dimensiones de las piezas y tiempo medio se procederá a la búsqueda del Robot más óptimo del mercado que cumpla con los requisitos necesarios.

5.5. Dimensiones del entorno de trabajo

Se hace un plano del entorno de trabajo de la máquina de corte por láser (TRUMPF L6050) para así poder determinar las dimensiones que debe tener nuestro sistema de evacuación.

En el plano podemos observar la longitud del punto más lejano (3304mm) y el punto más cercano (1807.89mm) al que tiene que llegar el robot.



Plano 3 plano del entorno de trabajo con la corredera.

En el **Plano 3** se puede observar el punto de máximo y mínimo alcance al cual tiene que llegar el robot.

5.6. Corredera para la traslación rectilínea del robot

Antes de comenzar a estudiar los diferentes robots que tiene las grandes marcas de robots industriales, empezamos estudiando las correderas que se encargan de hacer el movimiento lineal del robot. La corredera nos limitará los robots que podamos usar, debido a que, no todos los robots tienen la capacidad de posicionarse sobre una base móvil.

Se buscan las correderas que cumplan con nuestras necesidades (dimensiones del lugar de trabajo, velocidad de movimiento de la corredera), después se hace un estudio de los robots que se adaptan a dichas correderas.

A continuación, se procederá a representar cada corredera con sus características y los robots que son óptimos para dichas correderas.

5.6.1. Corredera de la marca ABB Track Motion IRBT 7004



Figura 31 Track Motion IRBT 7004. (ABB, www.ABB.es, 2016)

La **Figura 31** Es la corredera de la compañía ABB.

El sistema Track Motion de ABB tiene un diseño modular que se adapta a las distintas necesidades del mercado

Adaptado a las series de grandes robots IRB 4X00, IRB 66XX e IRB 7600.

Track Motion ofrece un rendimiento excepcional. Ello es posible gracias a la planificación integrada de todas las fuerzas dinámicas en la trayectoria combinada del robot y el control del movimiento. Esto la convierte en la mejor solución de su clase en cuanto a: Tiempo de ciclo, velocidad máxima y precisión de la trayectoria.

Track Motion incluye las siguientes características estándar:

- Mejor rendimiento en su clase
- Diseño compacto, robusto y sencillo
 - Muchos módulos comunes para toda la gama
 - Fácil de ajustar durante el inicio

- El mismo espacio mecánico del carril para todos los modelos de robot compatibles
 - Carros estándar, dobles e invertidos
 - Compatible con toda una serie de aplicaciones
- (ABB, 2016)

❖ **Robots que soporta la corredera Track Motion de ABB**

ABB		
Nombre	Carga máxima (Kg)	Alcance máximo (m)
IRB 6640-180	180	2,55
IRB 6640-235	235	2,55
IRB 6640-205	205	2,75
IRB 6640-185	185	2,8
IRB 6640-130	130	3,2
IRB 6640ID-200	200	2,55
IRB 6640ID-170	170	2,75
IRB 6600-175	175	2,8
IRB 6600-225	225	2,55
IRB 7600-150	150	3,5
IRB 460	110	2,4

Tabla 8 Robot que soporta la corredera Track Motion

En la **Tabla 8** representa la carga máxima y alcance máximo de los robots que soporta la corredera Track Motion

5.6.2. Corredera INTELLIGENTE PERIPHERIEN FÜR ROBOTER

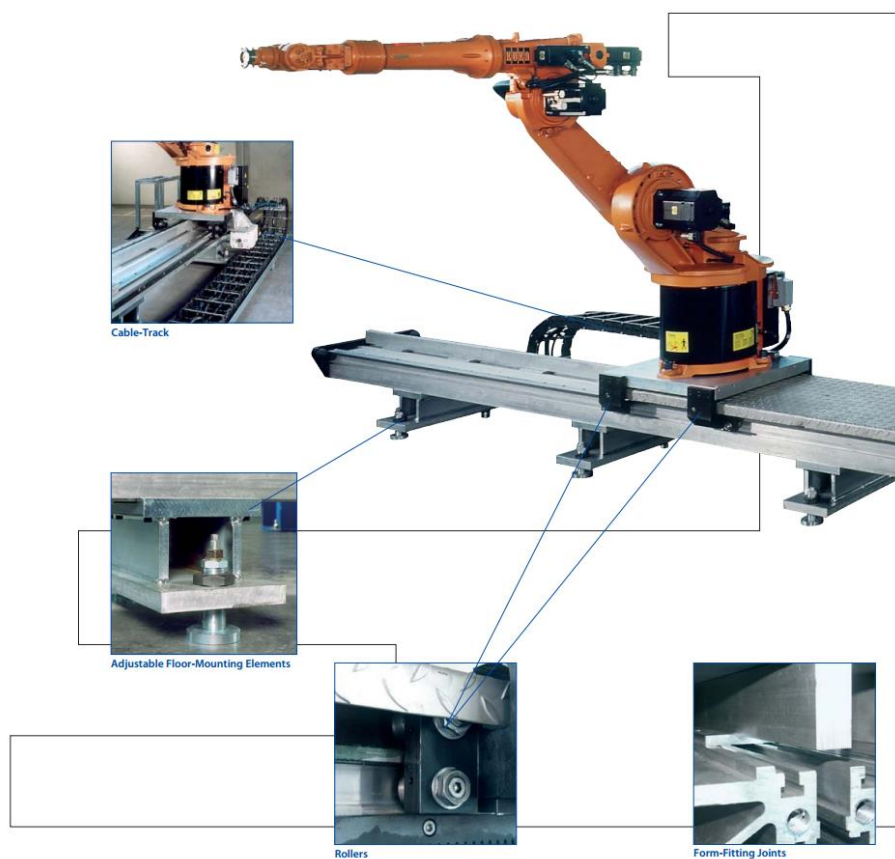


Figura 32 Corredera INTELLIGENTE PERIPHERIEN FÜR ROBOTER. (iprworldwide, 2016)

La **Figura 32** corresponde a la corredera INTELLIGENTE PERIPHERIEN FÜR ROBOTER de la compañía IPRWORLDWIDE.

La corredera de la marca iprworldwide presenta unas muy buenas características, su perfil es de acero con nervaduras en forma de cruz para una excepcional resistencia a la torsión, la instalación es rápida y precisa debido a los elementos ajustables del sistema de montaje.

❖ Robots que soporta la corredera de la compañía inteligente peripherien für roboter

Nombre	Carga máxima (Kg)	Alcance máximo (m)
KUKA KR 150 R3100	150	3,1
FANUC M-900iA/150P	150	3,507
FANUC R-2000iC/125L	125	3,1
FANUC R-2000iC/165R	165	3,095

Tabla 9 Robot que soporta la corredera INTELLIGENTE PERIPHERIEN FÜR ROBOTER

En la **Tabla 9** representa la carga máxima y alcance máximo de los robots que soporta la corredera INTELLIGENTE PERIPHERIEN FÜR ROBOTER

5.6.3. CORREDERA KUKA KL 2000



Figura 33 Corredera KL 2000. (KUKA, www.kuka.es, 2016)

La **Figura 33** corresponde a la corredera KL 2000 de la compañía KUKA.

La **KL 2000** es una unidad lineal de KUKA independiente y montada en el suelo. Funciona como eje adicional de un robot. De esta forma, el control se lleva a cabo mediante la unidad de control del robot correspondiente.

- PARA ROBOTS DE LA SERIE KR QUANTEC

Optimizada para todos los robots de la serie KR QUANTEC a excepción de la consola (K) y del concatenador de prensas.

- FLEXIBLE

Los trayectos de desplazamiento largos de hasta 30 m amplían el campo de trabajo mucho más allá del alcance del robot. Las unidades lineales son idóneas para la concatenación de instalaciones.

- POTENTE

Rendimiento y eficiencia energética más elevados gracias a una reducción de la masa del bastidor soporte y del carro de desplazamiento.

- MODULAR

Gracias a la estructura modular de la unidad lineal la longitud se puede aumentar como se desee utilizando componentes estándar.

- PRECISIÓN DE POSICIONAMIENTO

Pueden emplearse hasta cuatro robots en un eje lineal. Las distintas posiciones del robot sobre el eje lineal permiten obtener una orientación óptima para las exigencias y los campos de trabajo en cuestión.

(KUKA, 2016)

- DIMENSIONES DE LA CORREDERA

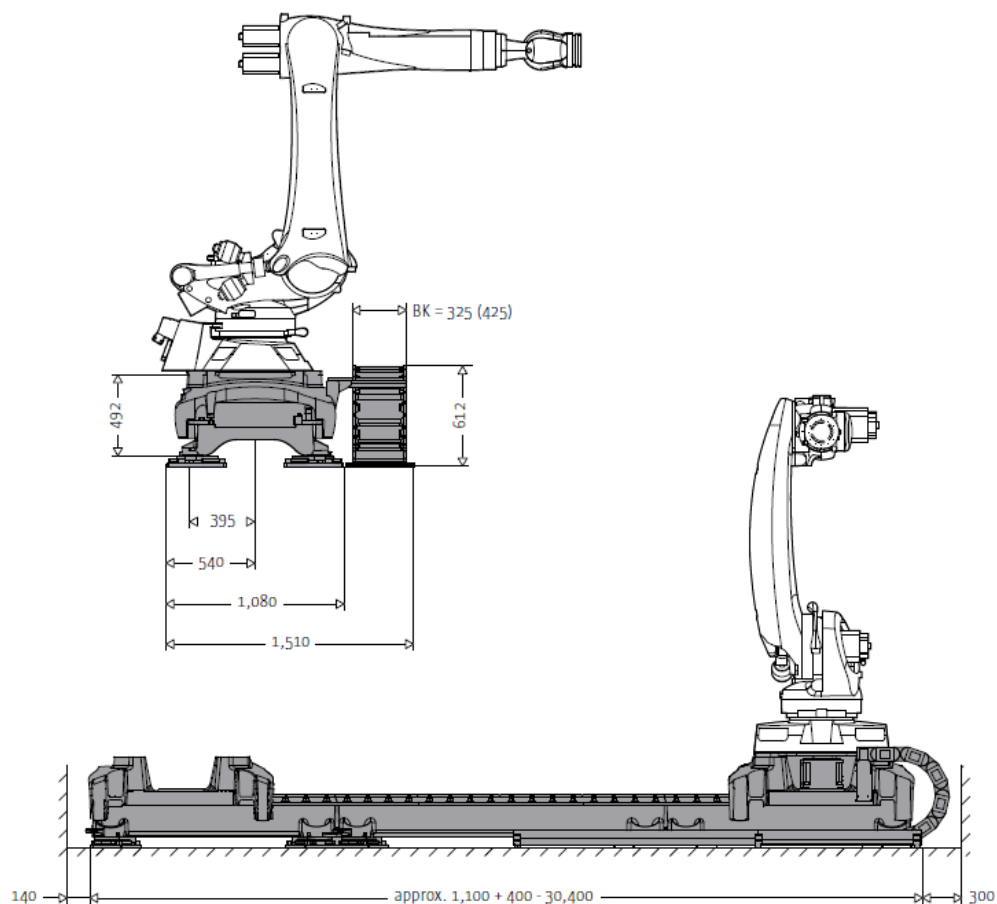


Figura 34 Dimensiones de la corredera KL 2000

La **Figura 34** es una representación del plano de la corredera KL 2000 en la se puede observar las dimensiones de la corredera.

(KUKA, www.kuka-robotics.com, s.f.)

❖ Robots que soporta la corredera KUKA KL 2000

KUKA		
Nombre	Carga máxima (Kg)	Alcance máximo (m)
KR 150 R2700	150	2,7
KR 120 R2900	120	2,9
KR 90 R3100	90	3,1
KR 120 R2500	120	2,5
KR 90 R2700	90	2,7
KR 100	100	2,4
KR 150 R3100	150	3,1
KR 180 R3200	180	3,2
KR 210 R3100	210	3,1
KR 120 R3200 PA	120	3,2
KR 150 L110-2K	110	3,5
KR 100-2P Serie 2000	100	3,5
KR 120-2P Serie 2000	120	3,5
KR 150 L130-2K	130	3,3

Tabla 10 Robot que soporta la corredera KL 2000

En la **Tabla 10** representa la carga máxima y alcance máximo de los robots que soporta la corredera KL 2000

5.6.4. Corredera de la marca WINKEL (eje lineal de piñón y cremallera)



Figura 35 Corredera eje lineal de piñón y cremallera. (WINKEL, 2016)

La **Figura 35** corresponde a la corredera eje lineal de piñón y cremallera de la compañía WINKEL.

WINKEL RLE: Ejes para robots se ha diseñado y fabricado para capacidades de carga de hasta 2

toneladas (peso del robot + carga que lleva el robot).

RLE Ejes para robots son adecuados para todas las marcas de robots y aplicaciones. Ejes del robot listo para conectar con su base de robot, reductores y lubricación central. WINKEL RLE Ejes para robots caracterizado por el posicionamiento de alta precisión de las marcas a través de guías de rodamientos de bolas y la construcción de perfiles de acero rígido.

Ejes auxiliares para robots - Modelo RLE

- Guías por circulación de bolas templadas y con precarga, sin juego, en tamaños 35 a 55 o con guía plana templada
- Accionamiento mediante piñones y cremalleras endurecidos
- Piñón lubricante para el suministro de grasa de la cremallera
- Lubricación central para ejes completos
- Cobertura protectora bajo petición.
- Fácil ajuste del suelo

Datos técnicos

- Peso del robot: Max. 2.000kg
- Velocidad de recorrido superior: a 2m/s
- Precisión por debajo de $\pm 0,1$ mm
(WINKEL, 2016)

❖ Robots que soporta la corredera WINKEL

KAWASAKI		
Nombre	Carga máxima (Kg)	Alcance máximo (m)
BX100L	100	2,597
BX130X	130	2,991
BX165N	165	2,325
BX165L	165	2,597
BX200L	200	2,597
BT200L	200	3,151

Tabla 11 Robot que soporta la corredera de la compañía WINKEL

En la **Tabla 11** representa la carga máxima y alcance máximo de los robots que soporta la corredera de la compañía WINKEL.

(ABB, www.abb.com, 2016)

(FANUC, 2016)

(KUKA, www.kuka.com, 2016)

5.7. Comparación de las correderas

Se hace una tabla con las diferentes características de cada corredera para así hacer una comparación entre dichas correderas y poder hacer la selección de la corredera con las mejores características.

Se puede deducir que la corredera que cumple con nuestros requisitos es la KUKA KL 2000, debido a que esta tiene la mejor repetibilidad es decir la precisión es de ± 0.02 mm, además tiene una buena velocidad de 1.96m/s y la carga máxima que puede soportar es de 350 Kg más el peso del robot.

Características de las correderas					
Nombre	Longitud máxima (m)	Velocidad máxima (m/s)	Aceleración máxima (m/s ²)	Carga máxima (Kg)*	Repetibilidad (mm)
Track Motion de ABB	19,7	1,2	1,8	800	0,1
IP-200-RA	11	3	4	2000	0,2
KUKA KL 2000	19,9	1,96	-	2000	0,02
WINKEL RLE	**	2	-	2000	0,2

(*) La carga máxima que soporta la corredera: es el peso del robot más la carga que manipula el robot, excepto en la Track Motion de ABB que son 800Kg + carga del robot.

(**) No tiene límite de longitud, en función del deseo del cliente.

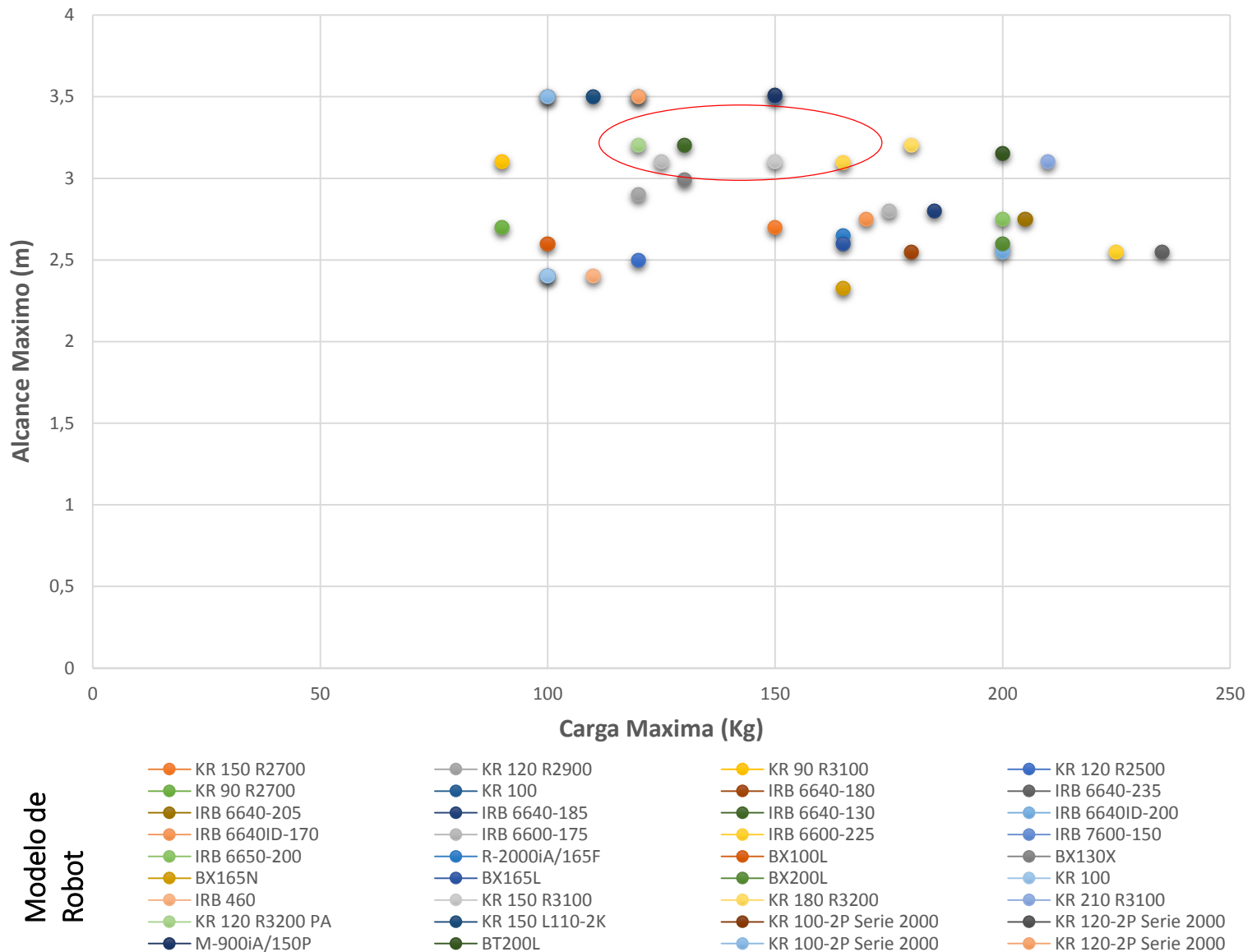
Tabla 12 Características de las correderas.

la **Tabla 12** demuestra las diferentes características de las correderas para poder hacer una comparación entre ellas.

5.8. Representación gráfica de los robots

Mediante el estudio de la gran variedad de robots del mercado se procederá a representar dichos robots en una gráfica. En el eje de las ordenadas se pone el alcance máximo del robot y en el eje de las abscisas la carga máxima que soporta el robot.

ROBOTS EN FUNCION DE LA CARGA MAXIMA Y ALCANCE MAXIMO



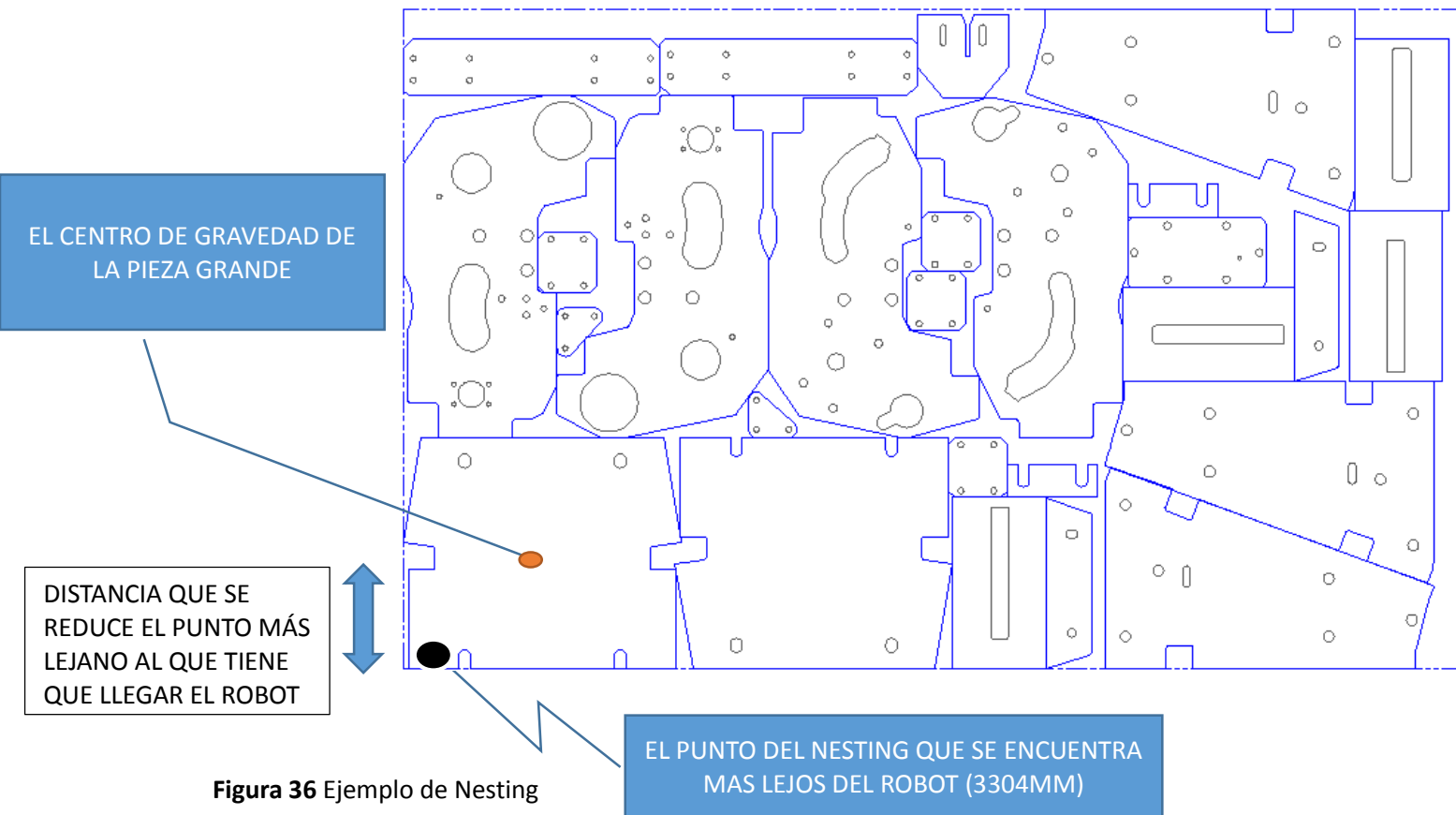
Grafica 2 Representación gráfica de los robots en función sus alcances máximos y cargas máximas.

La **Grafica 2** es una representación de los robots seleccionados anteriormente en función de la cargas máximas y alcances máximos del robot.

Mediante el análisis de los robots del mercado se ha podido deducir que conforme aumenta el alcance máximo al que puede llegar el robot aumenta con él las dimensiones del robot, los aumentos de las dimensiones del robot suponen un aumento del peso del robot y disminución de la velocidad del robot.

Para poder abarcar un mayor número de robots con altas velocidades se procederá a la disminución del punto más lejano al que tiene que llegar nuestro robot. Esta disminución del punto de máximo alcance al que tiene que llegar nuestro robot se consigue mediante los siguientes cambios:

1. La herramienta de agarre que se le acopla a la muñeca del robot tendrá unas dimensiones mínimas de 100 x 100 mm esto condensa el reduce el alcance máximo del robot 50 mm más.
2. Modificando el Nesting: la modificación del nesting consistirá en ubicar las piezas de mayores dimensiones en el borde de chapa más lejano al robot, con esto se consigue que el centro de gravedad de la pieza este más próximo del robot, esto disminuye el punto más lejano al que tiene que llegar nuestro robot una distancia mínima de 150 mm suponiendo que las piezas grandes colocadas al borde de la chapa tienen unas dimensiones de 300 x 300 mm, sin embargo, estas piezas grandes puede alcanzar unas dimensiones de hasta 700 x 700 mm para este caso disminuye el punto de mayor alejamiento 350 mm.



En la **Figura 36** se representa un ejemplo de un Nesting en el que se ubica las piezas de mayor dimensión en el extremo opuesto al robot, de modo que se disminuya la distancia del punto más lejano al que tiene que llegar el robot.

Como conclusión a estas modificaciones que se han hecho para poder reducir la distancia del punto más lejano al que tiene que llegar el robot, el nuevo alcance máximo que debe llegar el robot se reducirá a 3054mm.

La carga máxima que puede llegar a tener la pieza a evacuar es de 40 Kg, para la selección del robot, se utilizara un coeficiente de seguridad mínimo de dos, por el que, la carga máxima de la pieza asciende a 80 Kg.

Mediante la carga máxima (80Kg) y alcance máximo (3054mm) que tiene que tener el robot de nuestro sistema de evacuación, se procede a la selección de los robots que cumplen con nuestras restricciones, después de esta filtración se escogerá el robot más óptimo.

Los robots que cumplen con nuestras restricciones son: IRB 6640-130 y IRB 7600-150 de la marca ABB; IRB 6640-130, de FANUC: R-2000iC/125L y R-2000iC/165R, por último, el KR 120 R3200 PA y KR 150 R3100 Prime, de la marca KUKA.

5.9. Comparación de los Robots seleccionado

Para hacer una selección del robot óptimo, se procederá a hacer una comparación entre las características de los cinco robots seleccionados anteriormente.

5.9.1. Características de los robots

Marca	Modelo	Carga máxima (Kg)	Alcance máximo (mm)	Numero de Ejes	Peso (Kg)	Carga adicional (Kg)	Repetibilidad (mm)
ABB	IRB 6640-130	130	3200	6	1310-1405	50	±0,07
FANUC	R-2000iC/125L	125	3100	6	1115	0	±0,2
FANUC	R-2000iC/165R	165	3095	6	1370	0	±0,2
KUKA	KR 120 R3200 PA	120	3200	5	1075	50	±0,06
KUKA	KR 150 R3100 Prime	150	3100	6	1114	50	±0,06

Tabla 13 Características de los Robots.

la **Tabla 13** representa las características de los robots seleccionados anteriormente.

5.9.2. Espacio de trabajo de los robots

5.9.2.1. ABB IRB 6640-130

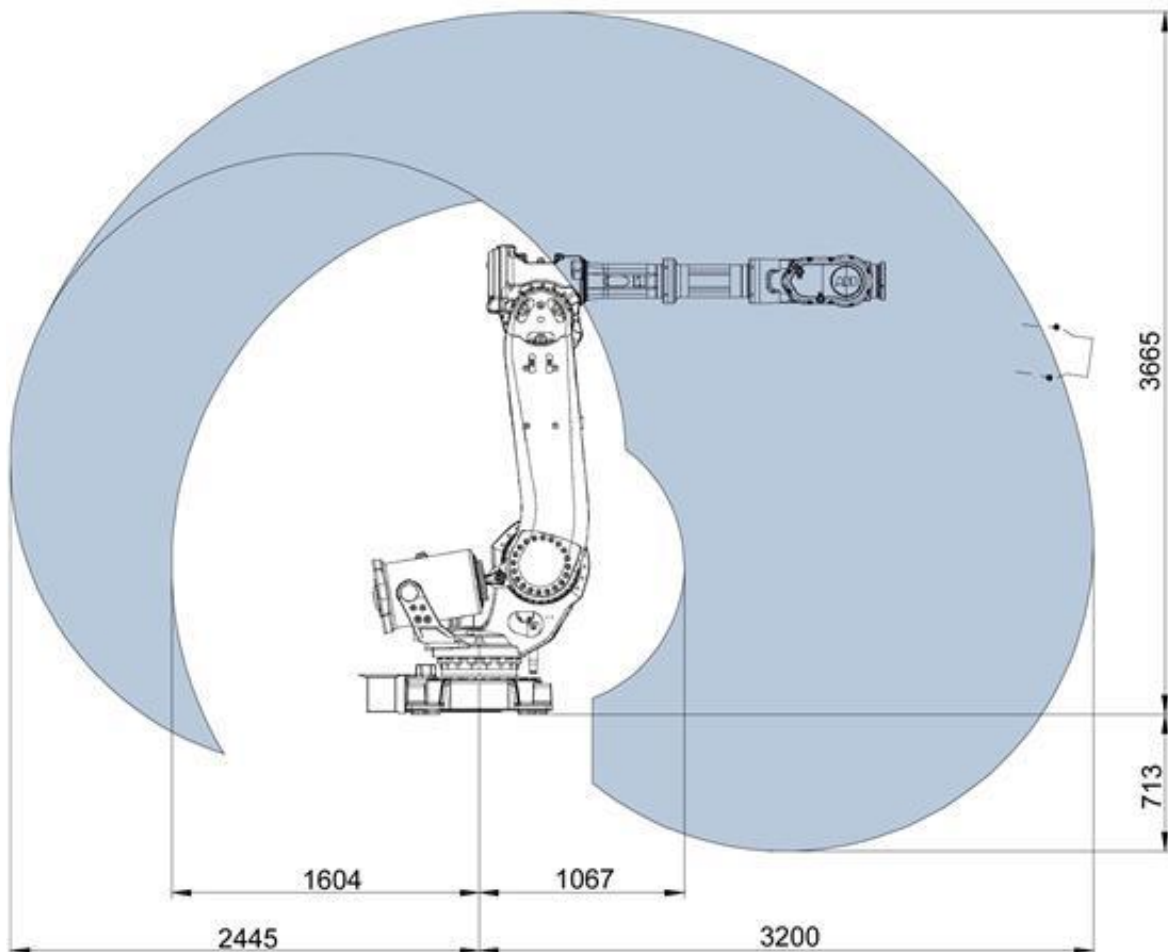


Figura 37 Robot ABB IRB 6640-130

La **Figura 37** es una representación de la zona de trabajo del robot IRB 6640-130 de la compañía ABB

5.9.2.2. FANUC R-2000iC/125

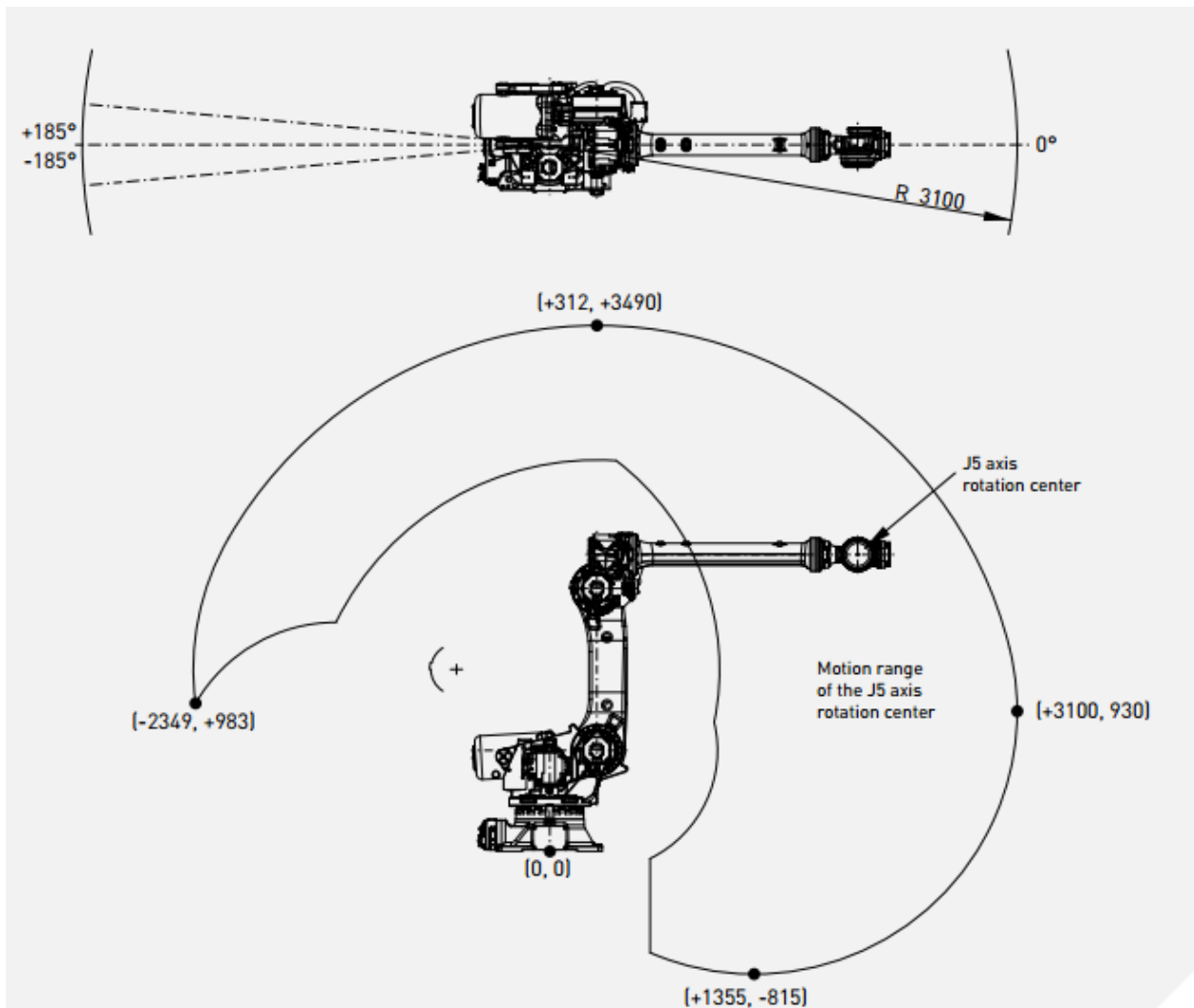


Figura 38 Robot FANUC R-2000iC/125

La **Figura 38** es una representación de la zona de trabajo del robot R-2000iC/125 de la compañía FANUC

5.9.2.3. FANUC R-2000iC/165

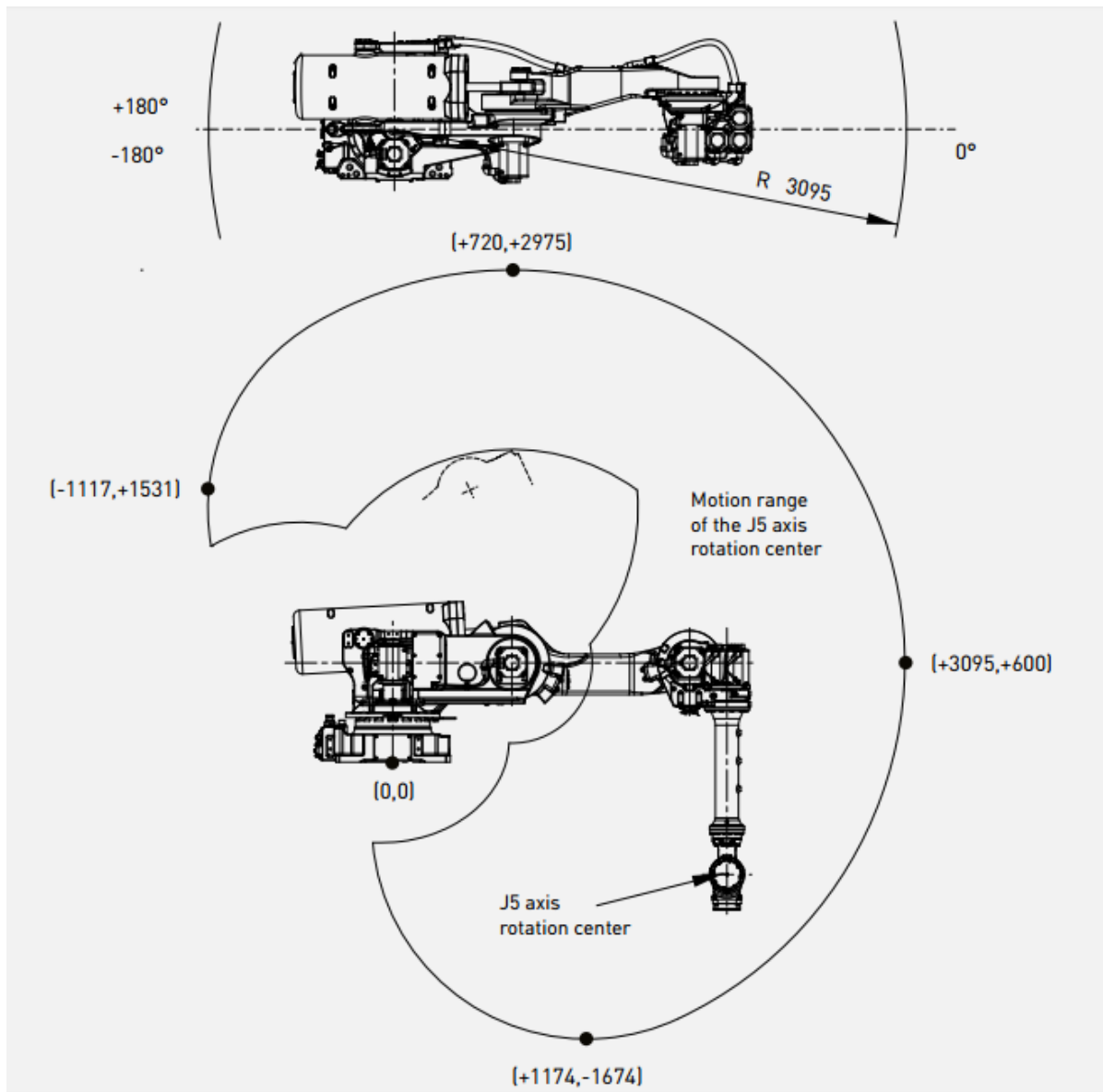


Figura 39 Robot FANUC R-2000iC/165

La **Figura 39** es una representación de la zona de trabajo del robot R-2000iC/165 de la compañía FANUC

5.9.2.4. KUKA KR 120 R3200 PA

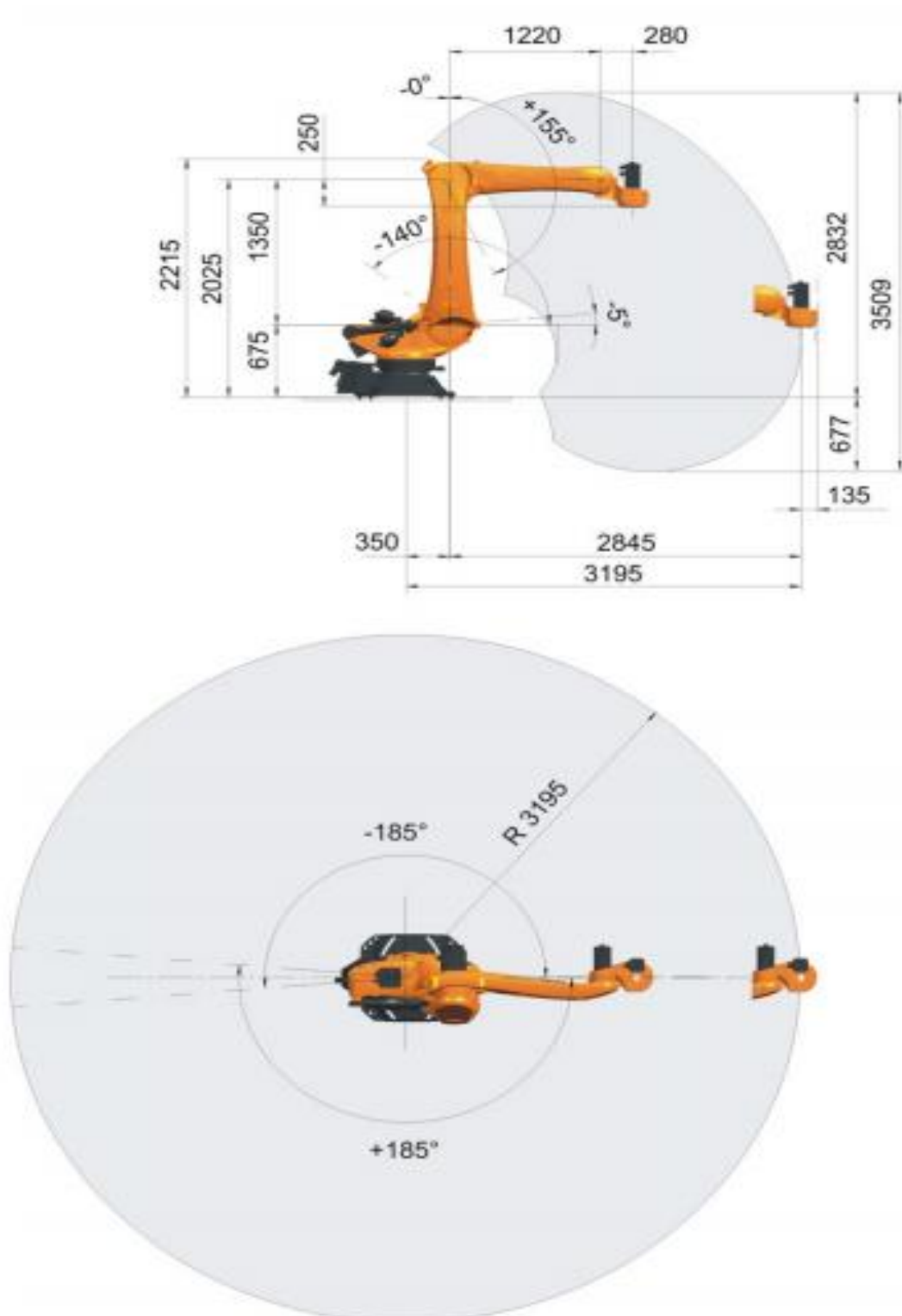


Figura 40 Robot KUKA KR 120 R3200 PA (KR QUANTEC)

La **Figura 40** es una representación de la zona de trabajo del robot KR 120 R3200 (KR QUANTEC) de la compañía KUKA

5.9.2.5. KUKA KR 150 R3100 Prime

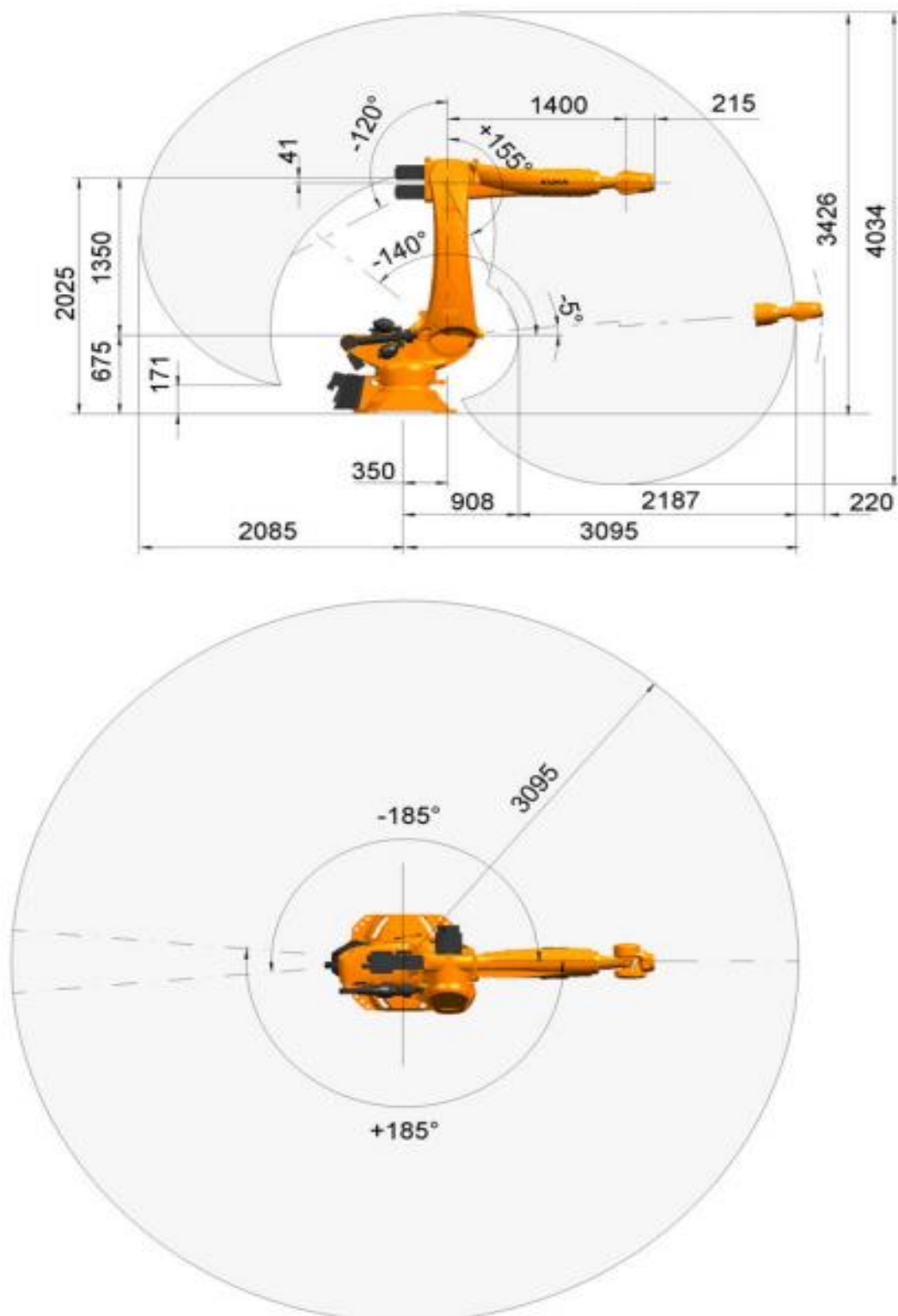


Figura 41 Robot KUKA KR 150 R3100 Prime

La **Figura 41** es una representación de la zona de trabajo del robot KR 150 R3100 Prime de la compañía KUKA

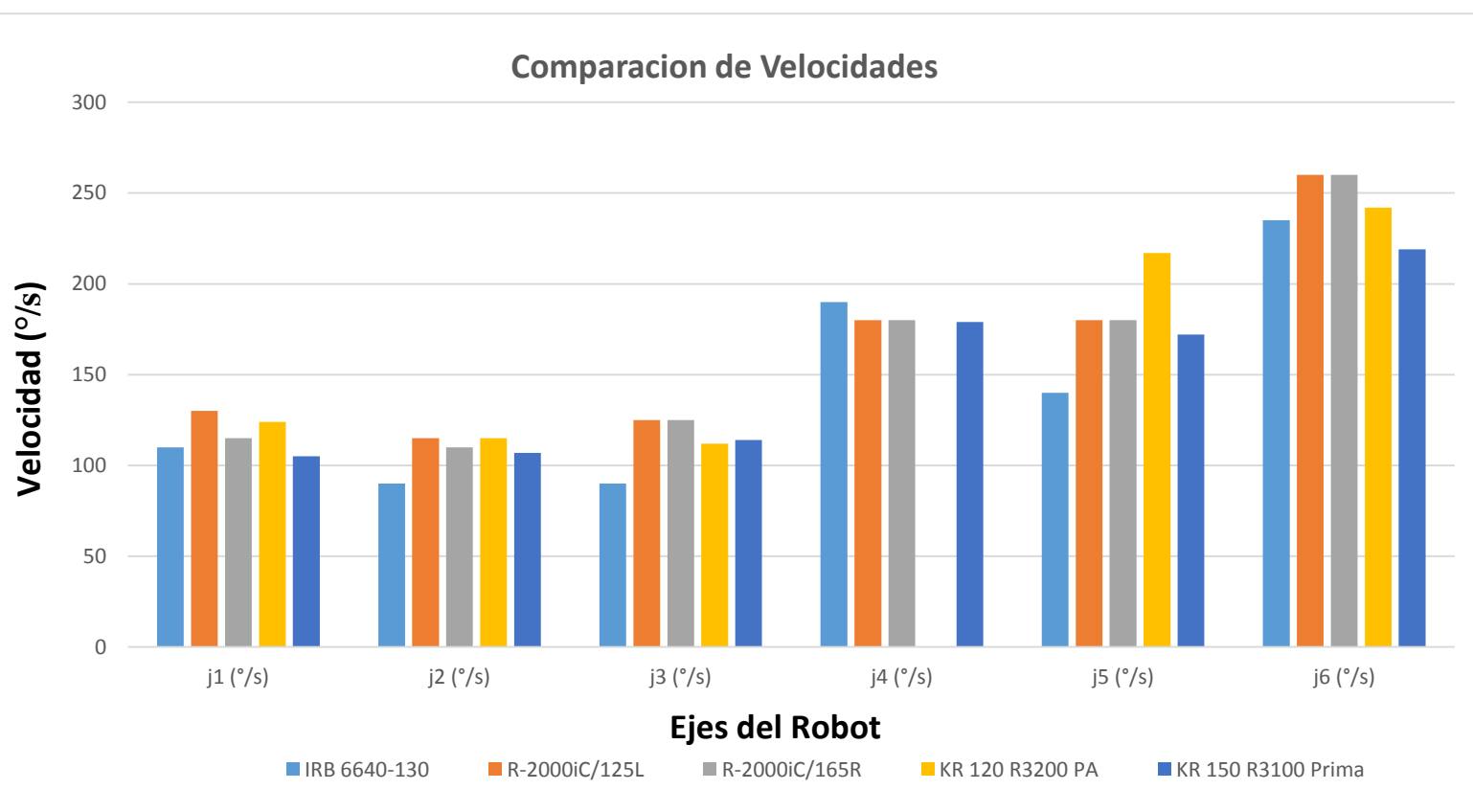
5.9.3. Velocidades de los robots

velocidades del Robot						
nombre	j1 (°/s)	j2 (°/s)	j3 (°/s)	j4 (°/s)	j5 (°/s)	j6 (°/s)
IRB 6640-130	110	90	90	190	140	235
R-2000iC/125L	130	115	125	180	180	260
R-2000iC/165R	115	110	125	180	180	260
KR 120 R3200 PA	124	115	112	(*)	217	242
KR 150 R3100 Prime	105	107	114	179	172	219

(*) El robot KR 120 R3200 PA no tiene eje J4 debido a que este solo tiene 5 grados de libertad.

Tabla 14 Velocidades de los ejes del robot.

la **Tabla 14** representa las velocidades de los diferentes ejes del robot en grados/segundos.



Grafica 3 Velocidades de los ejes del robot.

la **Grafica 3** es una comparación de las velocidades de los robots en cada eje.

De la Grafica podemos comparar las velocidades de los robots en cada eje, sin embargo, no podemos realizar una precisa selección del robot con mayor velocidad debido a que las velocidades de los robots varían en cada eje.

Para poder seleccionar el robot más rápido se procederá a hacer una comparación de la media de velocidades de cada robot.

Nombre	Velocidad media (°/s)
IRB 6640-130	142,50
R-2000iC/125L	165,00
R-2000iC/165R	161,67
KR 120 R3200 PA	162,00
KR 150 R3100 Prime	149,33

Tabla 15 Velocidad media de los robots.

la **Tabla 15** demuestra las velocidades medias de los robots, esto nos permite hacer una comparación entre las velocidades de los robots.

El robot FANUC R-2000iC/125L es el robot más rápido de los robots seleccionados, la desventaja de este robot es que su capacidad de carga máxima es 125Kg, suponiendo que la herramienta de sujeción pesa 50Kg la capacidad de carga del robot se reduciría a 75Kg, este robot queda descartado debido a que el peso máximo de la pieza a evacuar es de 80Kg, por lo tanto, el segundo robot más rápido de los seleccionados anteriormente es el KUKA KR 120 R3200 PA, este robot tiene una capacidad de carga de 125Kg más los 50Kg de la carga de la herramienta que se le puede acoplar a la muñeca del robot, además de que tiene la mejor repetibilidad de todos los robots seleccionados con un $\pm 0,06$.

5.10. Diagrama de carga

Para el uso efectivo del robot, es importante establecer adecuadamente la información sobre las cargas reales que soportará el robot tales como la herramienta, piezas de trabajo y otros dispositivos montados sobre el robot. Con ello será posible obtener un mayor rendimiento en el movimiento del robot, vibraciones más bajas y tiempos de ciclo más cortos.

A su vez se evitará la sobrecarga del robot que puede producir daños en los motores, las cajas reductoras y en la estructura mecánica. El diagrama de carga representa el máximo peso permitido para el acoplamiento de una carga en la brida de montaje (eje 6) con distintas posiciones del centro de gravedad.

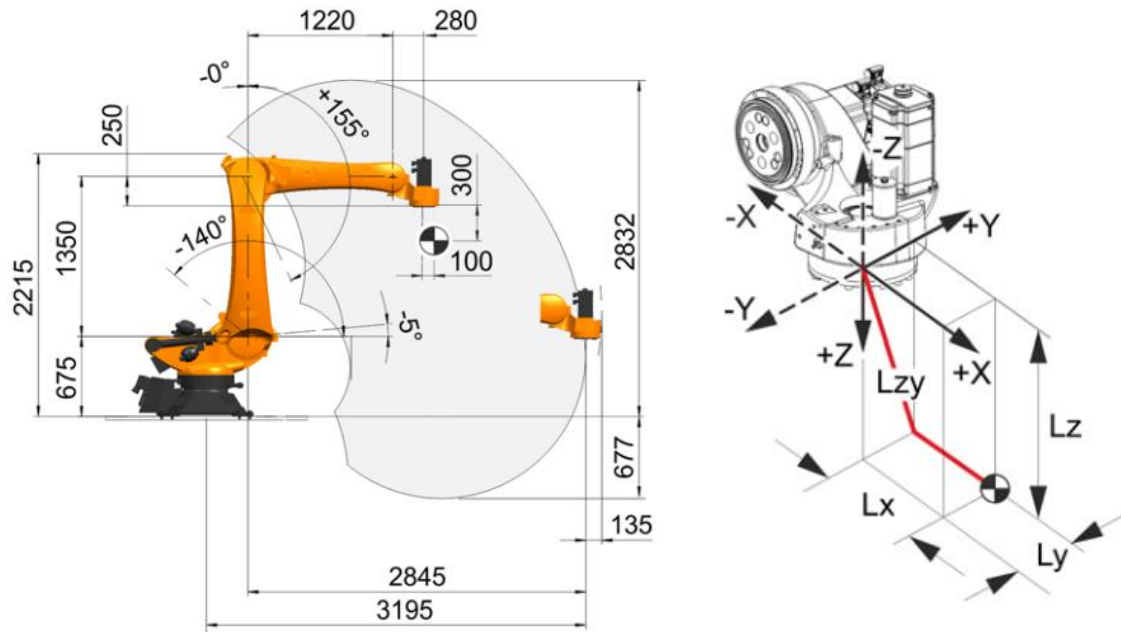


Figura 42 Distancia del centro de la gravedad a la muñeca del robot

La **Figura 42** es una representación de la distancia del centro de la gravedad de la pieza a manipular respecto del centro de gravedad de la muñeca del robot.

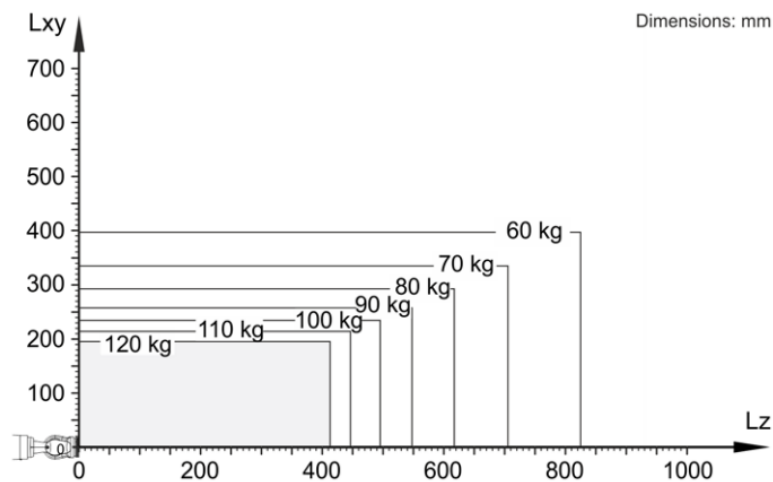


Figura 43 carga máxima del robot en función del desplazamiento de la muñeca. (KUKA, www.kuka.es, 2016)

La **Figura 43** es una representación la variación de la carga máxima que puede soportar un robot conforme muñeca se aleja del centro de gravedad del robot.

6. Elemento de sujeción de piezas (Grippers)

El elemento de sujeción del robot es la herramienta que se le acopla a la muñeca del robot, el elemento de sujeción del robot (Grippers) ha sido diseñadas para que el robot cargue y descargue objetos, transporte material y ensamble piezas. En el mercado hay diversos Grippers que desempeñan diferentes funciones, pueden ser ventosas, pinzas magnéticas, pinzas adhesivas, herramienta (soplete para soldar, pistola de pintar...), ganchos, etc.

La empresa SINASE trabaja diferentes metales, de los cuales un gran porcentaje son magnéticos, por otro lado, el otro porcentaje es de metales no magnéticos como es el caso del aluminio, esto excluye el uso de un sistema de electroimanes para la evacuación de las piezas cortadas, por lo tanto, el Gripper de nuestro robot tiene que ser un sistema de ventosas con capacidad de evacuar todo tipo de chapa metálica.

6.1. Diseño del sistema de cambio de herramienta

La muñeca es el elemento terminal del robot donde va instalada la herramienta con la que trabaja el robot, esta herramienta se encuentra acoplada a la muñeca del robot mediante un sistema de cambio de herramienta.

El cambiador de herramienta es un efector final, con dos partes que se adaptan entre sí normalmente llamadas “master” y “tool”, el plato master esta atornillado a la muñeca del robot, mientras el plato tool esta atornillada a la herramienta que en nuestro caso es un sistema de ventosas. Estos dos platos han sido diseñados para conectarse y desconectarse de forma completamente automática a diferentes útiles. Son capaces de pasar los servicios tales como: señales eléctricas, neumáticas. La mayoría de los cambiadores de herramientas usan sistemas neumáticos para generar el acople, proporcionando flexibilidad para cualquier proceso automatizado con el fin de cambiar las herramientas.

El cambio de herramienta se realizará de una forma rápida y sencilla. El sistema de acople automático de herramientas proporciona optimización de tiempos de operación y la potencialidad para generar más aplicaciones usando las tres herramientas en un mismo proceso sin la necesidad de detener el proceso para el montaje o cambio de otra herramienta.

(Automation, 2016)



Figura 44 plato master y plato tool

La **Figura 44** es una representación de un cambiador de herramienta en la que se puede observar las dos partes el plato master y el plato tool.

A continuación, procederemos a diseñar nuestro propio sistema de cambio rápido de herramienta. Nuestro sistema de cambio de herramienta tiene que ser ligero para no reducir la velocidad del brazo robótico, y manifestar un acoplamiento sencillo, rápido y sobre todo fiable. (Singaña Marco, 2015)

6.1.1. Finalidad del sistema de cambio de herramienta

El objetivo de nuestro sistema de cambio de herramienta es proporcionar al robot la capacidad de un rápido, sencillo y automático cambio de herramienta. El cambio de herramienta se realiza en función de las dimensiones de la pieza a evacuar.

6.1.2. Dimensiones y material del sistema de cambio de herramienta

Las dimensiones del cambiador de herramienta tienen que ser en función de las dimensiones de nuestras herramientas para así poder adaptarse a la herramienta. El material tiene que tener una alta resistente, antioxidante y ligero. Cuando más ligero es el cambiador de herramienta menos perturba a la velocidad del robot.

El material que se utiliza en la construcción del cambiador de herramienta es el Aluminio 6061-T6 ($S_y = 276 \text{ MPa}$). La selección de este material ha sido debido a las características del aluminio 6061-T6: la apariencia agradable, el bajo peso, buena resistencia a la corrosión y facilidad relativa de formado y maquinado.

6.1.2.1. Propiedades del aluminio 6061

El aluminio 6061 es una aleación de aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio. Originalmente denominado "aleación 61S" fue desarrollada en 1935. Tiene buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras con una dureza Brinell de 65. Es una de las aleaciones de aluminio más comunes para uso general. Se emplea comúnmente en formas pre templadas como el 6061-O y las templadas como el 6061-T6 y 6061-T651.

- Propiedades tecnológicas

Proceso	Clasificación
<u>Soldabilidad</u>	A
Electrón Beam	B
Gas Inerte	B
Por resistencia	B
Brazing	
<u>Maquinabilidad (T6)</u>	C
Corte de viruta	A
Brillo de Superficie mecanizada	
<u>Resistencia a la Corrosión</u>	A
Agentes atmosféricos	B
Ambiente marino	
<u>Anodizado</u>	A
Protección	C
Brillante	A
Duro	

Clasificación: (A)Muy buena - (B)Buena - (C)Aceptable - (D)Pobre o No Recomendado

Tabla 16 Propiedades tecnológicas del Aluminio 6061-T6

La **tabla 16** muestra la calificación de las diferentes propiedades del Aluminio 6061-T6.

- Propiedades físicas

Densidad [gr/cm ³] ^o	2.7	Coef. De dilatación (0 a 100oC) [oC-1 x 10 ⁶]	23.6
Rango de fusión [°C]	575-650	Conductividad ad Térmica (0 a 100 oC) [W/m oC]	Temple T6: 167
Módulo de elasticidad [MPa]	69500	Resistividad a 20 oC [μOcm]	Temple T6: 4.0
Coefficiente de Poisson	0.33	Calor específico (0 a 100 oC)	940

Tabla 17 Propiedades físicas del Aluminio 6061-T6

En la **tabla 17** se puede observar las diferentes propiedades físicas del Aluminio 6061-T6.

6.1.2.2. Usos

Es usado en todo el mundo para los moldes de inyección y soplado, construcción de estructuras de aeronaves, como las alas y el fuselaje de aviones comerciales y de uso militar; en refacciones industriales, en la construcción de yates, incluidos pequeñas embarcaciones, en piezas de

automóviles, en la manufactura de latas de aluminio para el empaquetado de comida y bebidas. Es fácil de maquinar y resistente a la corrosión.

6.1.2.3. Composición Química

La proporción de aluminio debe oscilar entre el 95.85 y el 98.56 por ciento, mientras que el resto de elementos de la aleación atiende a los márgenes establecidos en la siguiente tabla, sin que existan otros elementos (distintos a los señalados en la tabla) en proporciones superiores a 0.05 de forma individual ni el 0.15 % en total:

Elemento	Mínimo(%)	Máximo(%)
Silicio	0.4	0.8
Hierro	0	0.7
Cobre	0.15	0.4
Manganeso	0	0.15
Magnesio	0.8	1.2
Cromo	0.04	0.35
Zinc	0	0.25
Titanio	0	0.15

Tabla 18 Composición del Aluminio 6061-T6

La **tabla 18** representa el porcentaje mínimo y máximo de los elementos de aleación de Aluminio 6061-T6.

(aluminiosmetalesunicornio, s.f.)

6.1.3. Plato master

Es el plato principal del sistema de cambio de herramienta, está fijado a la muñeca del robot, es diseñado como el plato macho que se acopla al plato tool, la unión entre los dos platos se lleva a cabo por medio de los siguientes sucesos: 1) introducción del plato master en el plato tool, 2) giro de 60° del plato master y 3) la fijación del sistema por medio de uno cilindros neumáticos.

El plato master posee tres ranuras para el paso del aire comprimido al plato tool.

- Propiedades volumétricas del plato master

Material = Aluminio 6061-T6

Masa = 1.60549 Kg

Volumen = 0.000594624m³

Densidad = 2700 Kg/m³

Peso = 15.7338 N

6.1.3.1. Estudio de elementos finitos

A continuación, se procederá a realizar un estudio de elementos finitos del plato tool, este estudio se realiza para predecir el comportamiento de nuestra pieza bajo los efectos de una carga y poder observar si nuestro sistema es capaz de soportar la carga y detectar las partes que soportan mayores tensiones. En caso de que nuestro sistema no sea capaz de soportar las tensiones que actúan sobre él, procederemos a cambiar el material del cambiador de

herramienta por uno de mayor resistencia o aumentar las dimensiones de las pletinas del plato tool o realizar un tratamiento para reforzar las parte que soportan mayores cargas.

I. Mallado del plato master

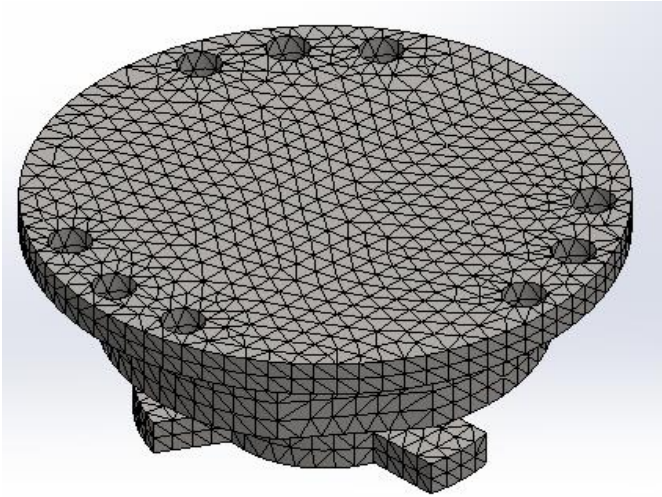


Figura 45 Mallado del plato master

La **Figura 45** es una presentación de mallado del plato master, en la que se subdivide el plato master en elemento finitos.

El mallado consiste en subdividir la pieza a estudiar en partes finitas para poder observar la variación de cada parte en función de la carga que se le aplica a la pieza. En nuestro caso el mallado es de 6 mm con una tolerancia de 0.2 mm, la pieza se divide en 21761 partes.

II. Selección de la parte fija

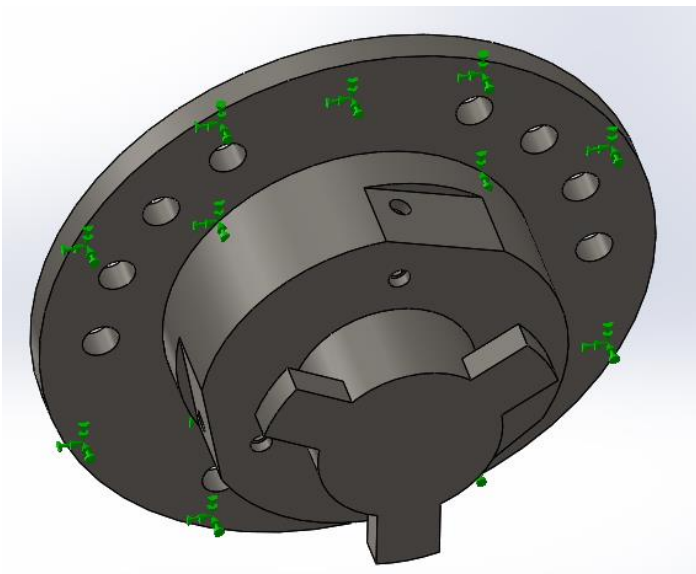


Figura 46 Parte fija del plato master

La **Figura 46** refleja la parte fija del plato master, esta parte es la que se atornilla a la muñeca del robot.

III. Aplicación de la carga

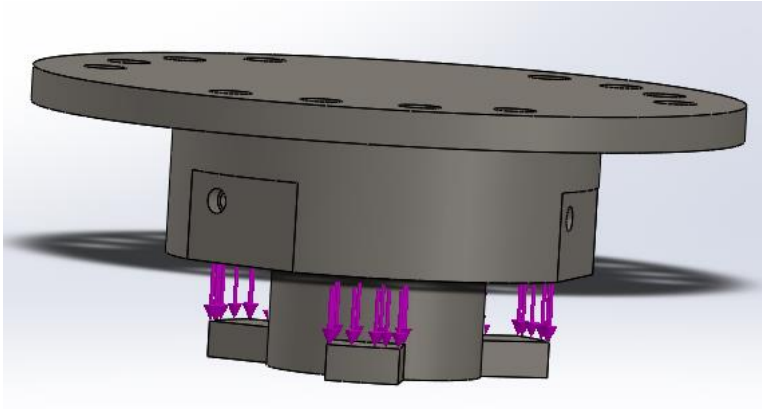


Figura 47 Plato master con las cargas

La **Figura 47** es una representación de plato master con la distribución de la carga sobre las pletinas.

La carga total que tiene que soportar las pletinas, viene definida por el peso de la pieza a levantar y el peso de la propia herramienta. La carga total será la suma del peso máximo que puede alcanzar una pieza que en nuestro caso es de 40 Kg más el peso que puede llegar a alcanzar la herramienta que es de 20Kg. esta carga se aplica sobre la superficie de la pletina del plato master.

IV. Tensión de Von Mises

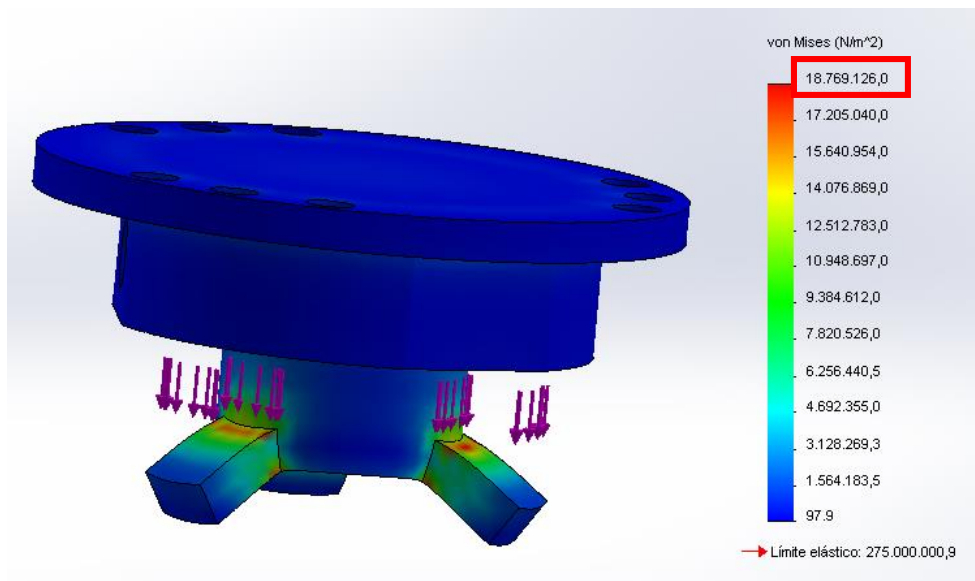


Figura 48 Tensión de Von Mises

En la **Figura 48** se puede apreciar las partes de la pletina que soportan mayores tensiones sin llegar al límite elástico.

El límite de tensión del Aluminio es $275.000.000 \text{ N/m}^2 = 275.000.000 \text{ Pa} = 275 \text{ MPa}$ y la tensión de VonMises máxima alcanzada es de 18.77 MPa como se muestra en la Figura.

El cálculo del factor de seguridad se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$FDS = \sigma_{limit} / \sigma_{von\ mises} = 275 \text{ MPa} / 18.77 \text{ MPa} = 14.65$$

V. Desplazamiento

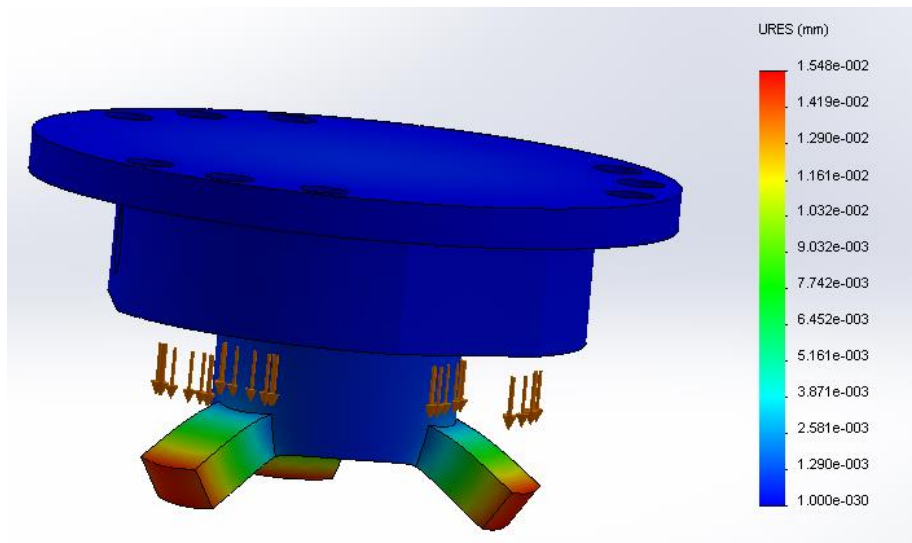


Figura 49 Desplazamiento de las pletinas

La **Figura 49** demuestra el desplazamiento máximo que puede llegar a alcanzar las pletinas.

El desplazamiento máximo que puede llegar a alcanzar el extremo de la pletina es de 0.0015mm.

6.1.4. Plato tool

El plato tool será diseñado de acuerdo con las dimensiones del plato master, ya que ambos forman el sistema del cambiador y deben acoplarse. Pose 3 ranuras como el plato master para el paso de aire hacia la herramienta.

- Propiedades volumétricas del plato tool

Material = Aluminio 6061-T6

Masa = 1.08615 Kg

Volumen = 0.000402277m³

Densidad = 2700 Kg/m³

Peso = 10.6442 N

En el plato tool se instalan tres cilindros neumáticos situados a 120° entre sí, estos cilindros tienen la función de que una vez que se produzca el acoplamiento entre el plato master y el plato tool, el vástago del cilindro tiene enroscado a una pieza en su extremo, esta pieza hace de encaje entre la pletina del plato master y la pared del plato tool, con esto evitamos que el plato master retroceda y se garantiza una conexión fija entre los dos platos.

6.1.4.1. Elementos del plato tool

El plato tool dota de tres cilindros con sus finales de carrera. Se procederá a la explicación de las partes que componen el plato tool.

❖ Cilindro neumático

El cilindro seleccionado es de la marca Asco Numatics compacto de simple efecto con un diámetro de 32 mm y una carrera de 25 mm.

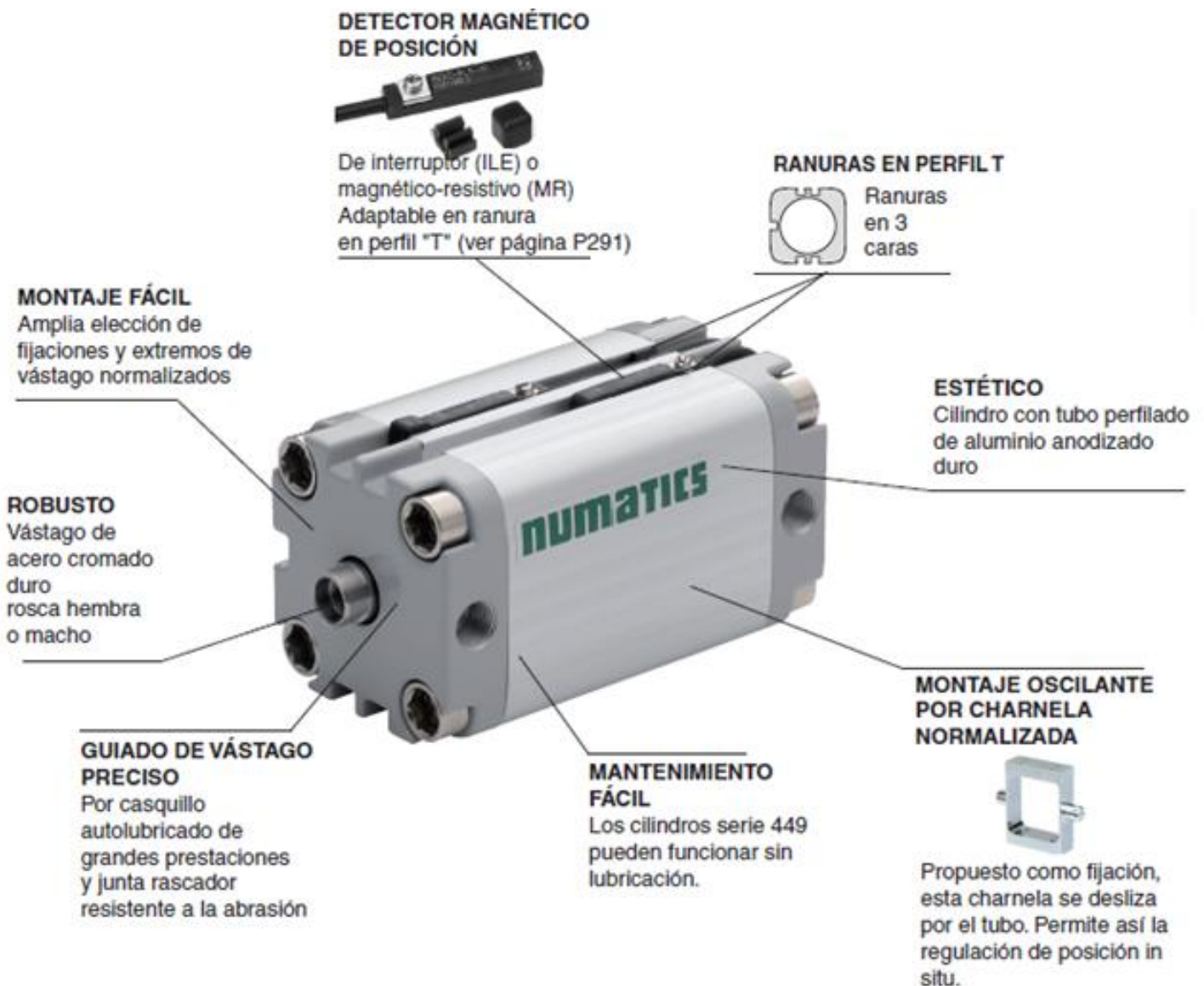


Figura 50 Cilindro neumático. (Asconumatics)

la **Figura 50** representa el cilindro neumático seleccionado para el plato tool.

INFORMACIÓN GENERAL

- Detección Previstos para detectores magnéticos de posición
- Fluido Aire o gas neutro, filtrado, lubricado o no
- Presión de utilización 10 bar máx.
- Temperatura ambiente -20°C a +70°C

CONSTRUCCIÓN

- Cuerpo aleación ligera
- Vástago acero inox. ($\varnothing 8 - 25 \text{ mm}$)
- Acero cromado duro ($\varnothing 32 - 100 \text{ mm}$)
- Extremo de vástago Roscado
- Piezas internas POM (poliacetal) o aleación ligera
- Junta de pistón PUR (poliuretano)
- Casquillo metálico Autolubricante
- Fijación frontal, trasera o lateral Por tornillos (no provistos) o bridas (ver apartado fijación)

Para su fijación el cilindro dota de unos agujeros roscados, además, en sus extremos tienes unas ranuras para la colocación de los detectores magnético.
 (Asconumatics)

❖ Detector magnético de posición

Los detectores para cilindros sirven para detectar la posición del émbolo en cilindros neumáticos. Los detectores se instalan directamente en el cilindro. A través de la pared de la carcasa, la cual está compuesta por materiales no magnetizables (por ejemplo, aluminio, latón o acero inoxidable), los detectores detectan los imanes anulares que se encuentran en el émbolo.



Figura 51 Detector magnético

En la **Figura 51** se puede observar el posicionamiento del detector magnético que controla la posición del émbolo en los cilindros neumáticos

6.1.4.2. estudio de elementos finitos

Al igual que el plato master, se realizará un estudio de elementos para poder predecir el comportamiento del plato tool en función de la carga que se le aplica.

I. Mallado del plato tool

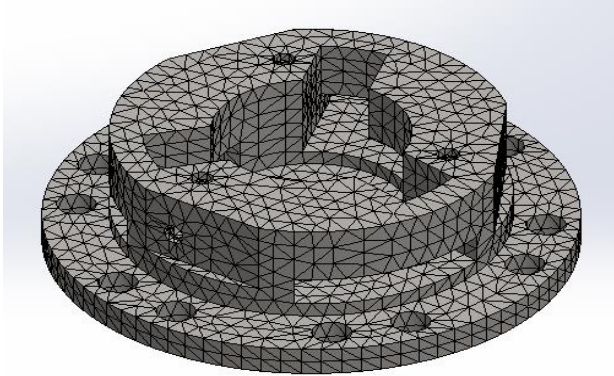


Figura 52 Mallado del plato tool

La **Figura 52** es una presentación de mallado del plato tool, en la que se subdivide el plato tool en elemento finitos.

El mallado consiste en subdividir la pieza a estudiar en partes finitas para poder observar la variación de cada parte en función de la carga que se le aplica a la pieza. En nuestro caso el mallado es de 6 mm con una tolerancia de 0.2 mm, la pieza se divide en 19491 partes.

II. Selección de la parte fijas del plato tool

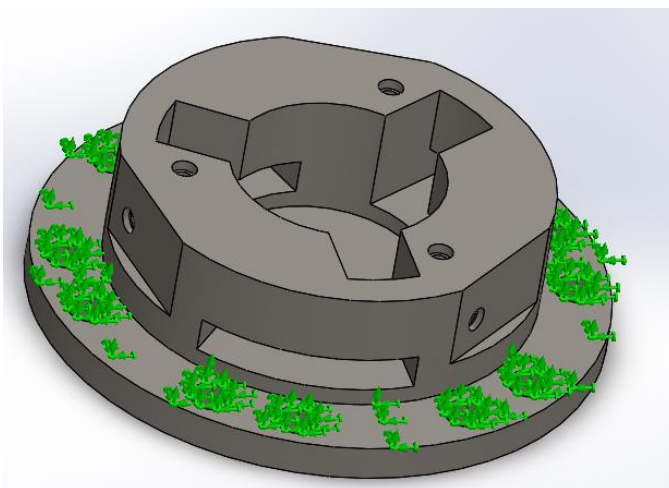


Figura 53 Parte fija del plato tool

La **Figura 53** refleja la parte fija del plato tool, esta parte es la que se atornilla a la herramienta.

III. Aplicación de la carga

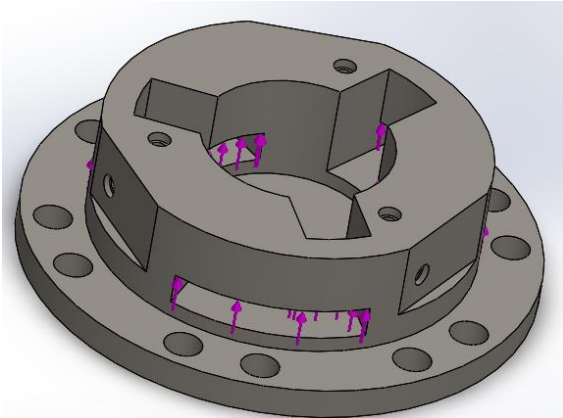


Figura 54 Plato tool con las cargas aplicadas

La **Figura 54** es una representación de plato tool con la distribución de la carga sobre la superficie de contacto de las pletinas del plato master con el plato tool.

la carga es de 600 N como hemos mencionado anteriormente para el plato master,

IV. Tensión de Von Mises

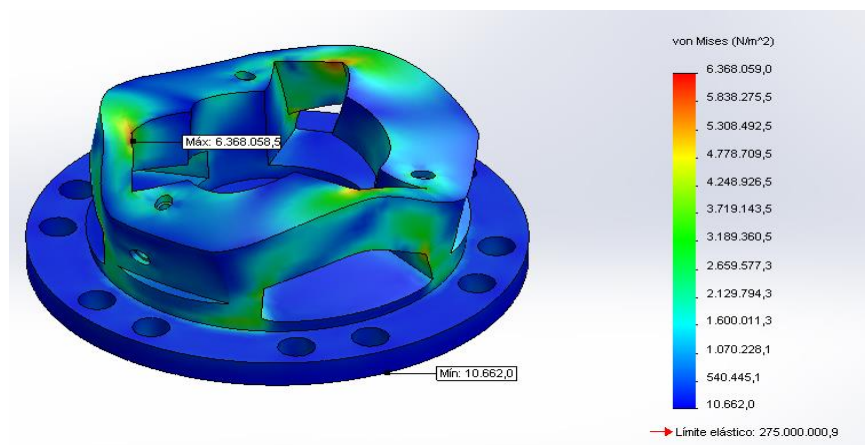


Figura 55 Tensión de Von Mises

En la **Figura 55** se puede apreciar las partes del plato tool que soportan mayores tensiones sin llegar al límite elástico.

El límite de tensión del Aluminio es $275.000.000 \text{ N/m}^2 = 275.000.000 \text{ Pa} = 275 \text{ MPa}$ y la tensión de VonMises máxima alcanzada es de 6.37 MPa como se muestra en la Figura.

El cálculo del factor de seguridad se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$FDS = \sigma_{\text{limit}} / \sigma_{\text{von mises}} = 275 \text{ MPa} / 6.37 \text{ MPa} = 43.17$$

V. Desplazamiento

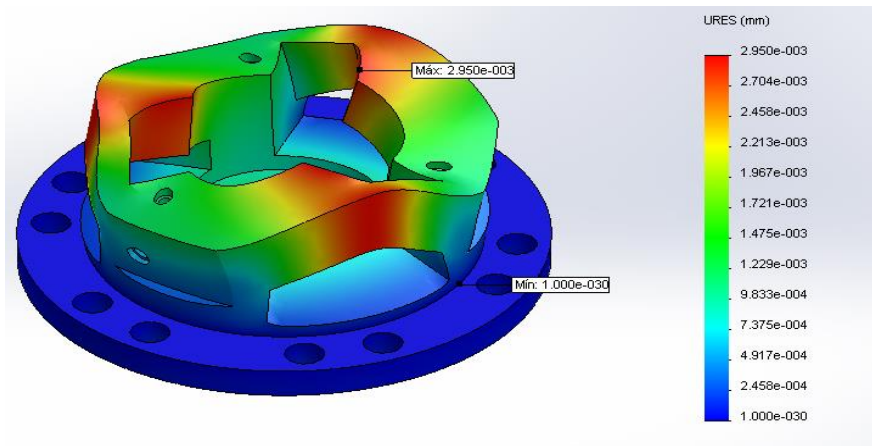


Figura 56 Desplazamiento del plato tool

La **Figura 56** demuestra el desplazamiento máximo que puede llegar a alcanzar el plato tool. El desplazamiento máximo se genera en la superficie de contacto del plato tool con las pletinas del plato master y es de 0.00295mm.

6.1.5. Señales a pasar desde el robot a la herramienta

Debido a que nuestras herramientas constan de un sistema de ventosas, la conexión del plato master con el plato tool nos tiene que proporcionar la transmisión de aire comprimido desde el robot hasta la herramienta. Esta transmisión se consigue por la conexión de los conductos del plato master con los conductos del plato tool.

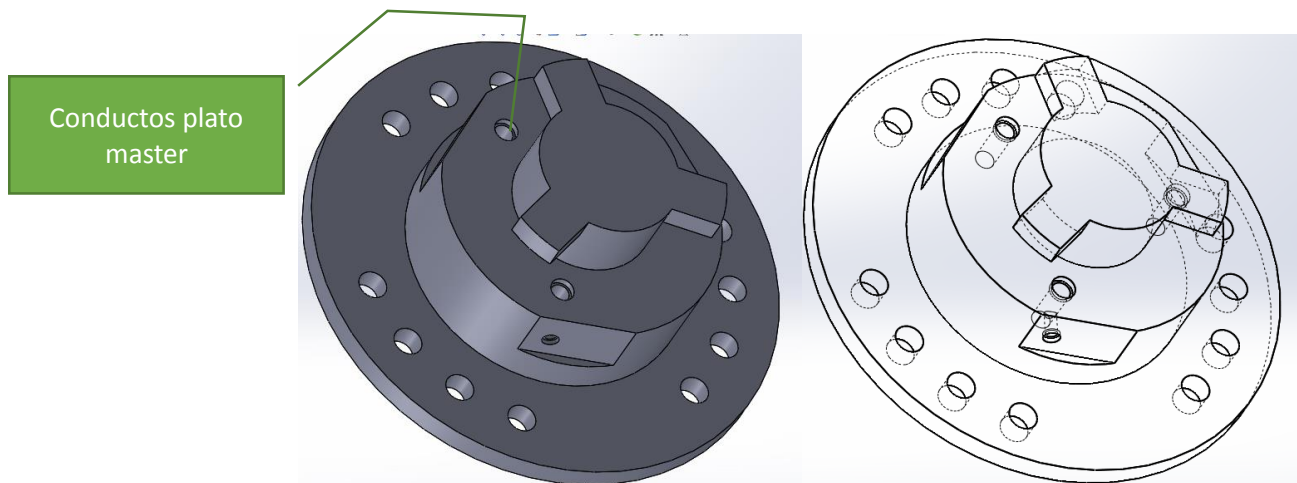


Figura 57 Plato master con los canales

En la **Figura 57** se puede observar el plato master del cambiador de herramienta con los tres conductos de aire comprimido.

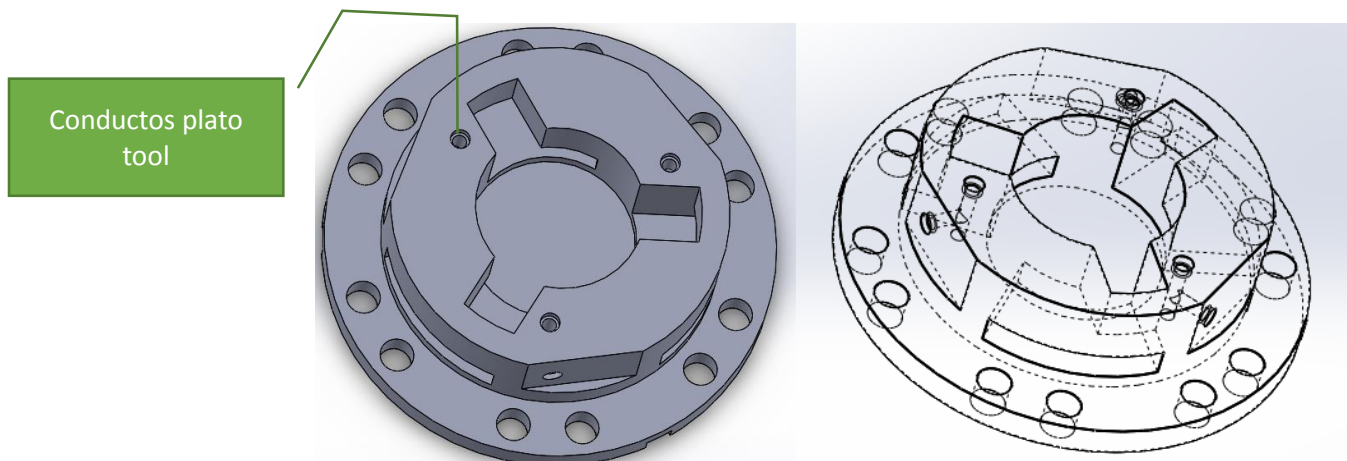


Figura 58 Plato tool con los canales.

la **Figura 58** representa el plato tool del cambiador de herramienta con los conductos de aire comprimido.

6.1.6. Funcionamiento del sistema de cambio de herramienta

Nuestro sistema de cambio de herramienta presenta un funcionamiento automático, sencillo, eficaz y eficiente.

Pasos para realizar el acople entre el plato master y el plato tool.

1. Posición del plato master sobre el plato tool

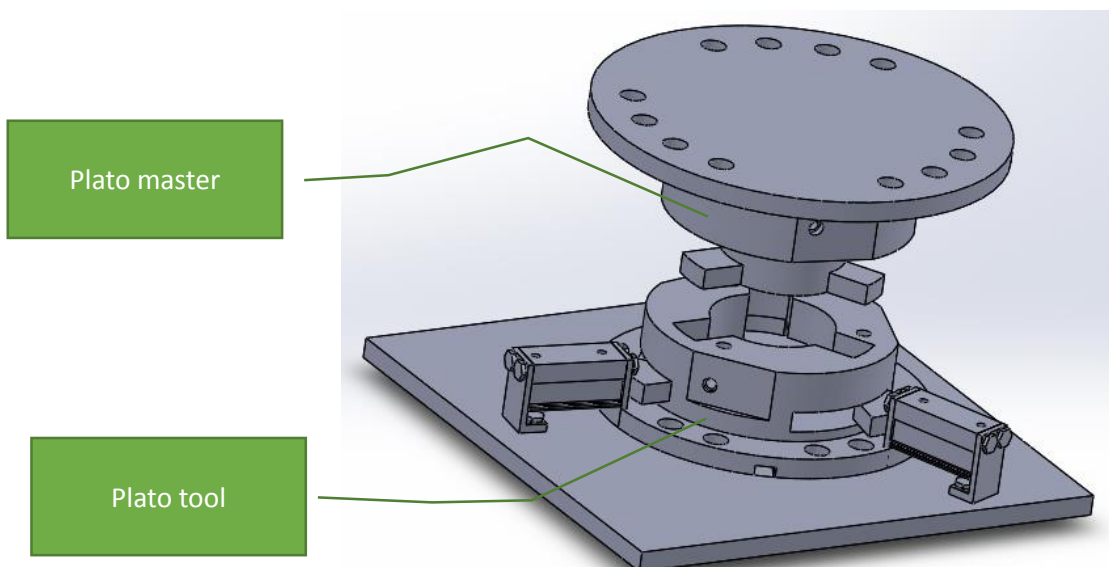


Figura 59 Posicionamiento del plato master sobre el plato tool

La **Figura 59** representa el posicionamiento del plato master sobre el plato tool.

La primera parte del acoplamiento del cambiador de herramienta consiste en posicionar el plato master sobre el plato tool haciendo que las tres pletinas del plato master encajen perfectamente con las ranuras del plato tool.

2. Encaje del plato master con el peto tool

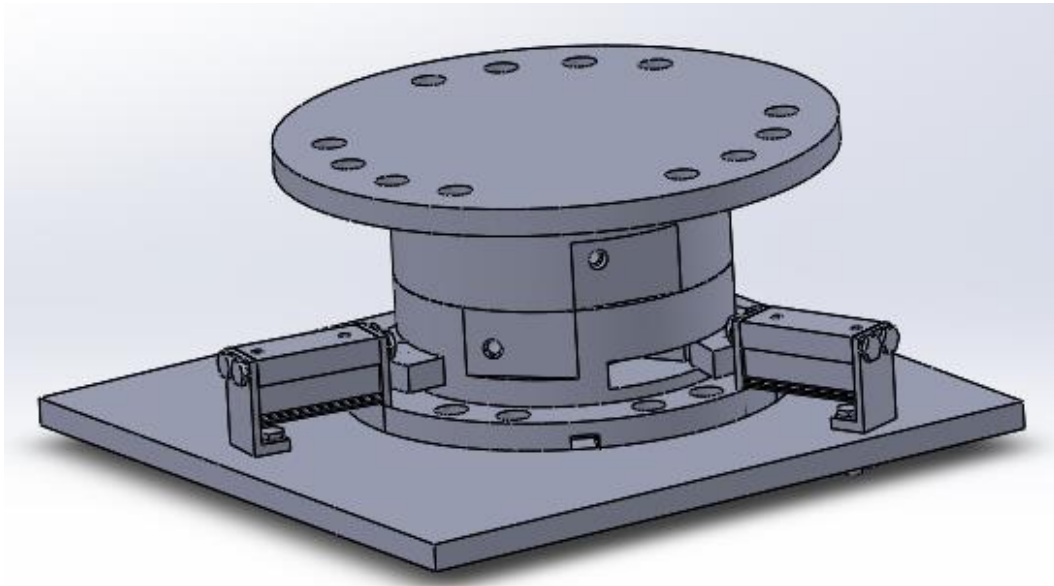


Figura 60 Introducción del plato master sobre el plato tool.

La **Figura 60** es una demostración del acoplamiento entre el plato master y el plato tool.

Una vez situado el plato master sobre el plato tool encajando perfectamente las pletinas con sus ranuras, se procede a introducir el macho del plato master en la ranura del plato tool.

3. Giro del plato master

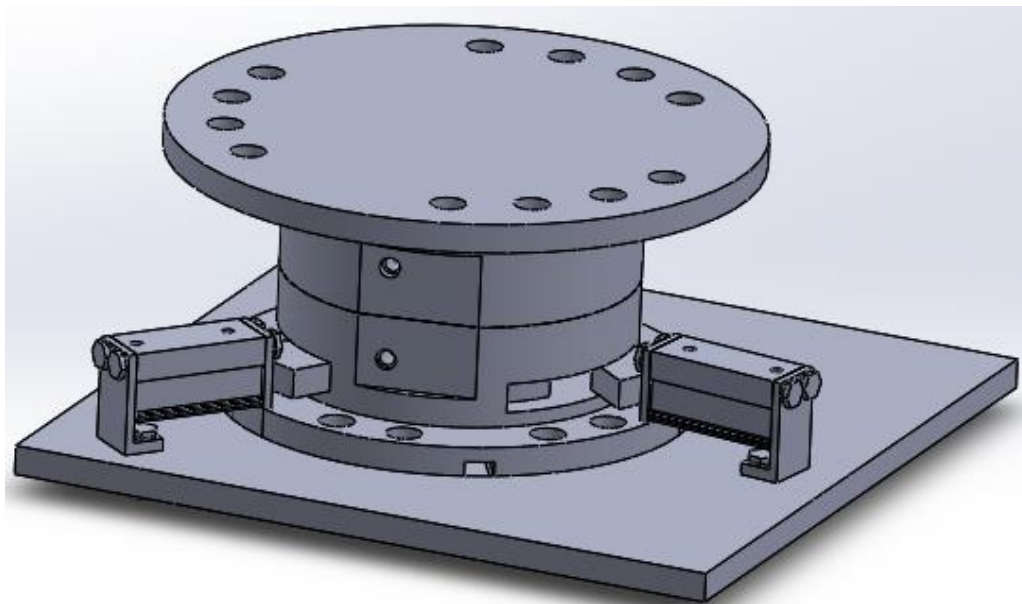


Figura 61 Acoplamiento entre los dos platos con giro del plato master.

La **Figura 61** representa el acoplamiento entre las dos partes del cambiador de herramienta, con un giro de 60° del plato master.

el paso posterior a la introducción del macho del plato master en la ranura del plato tool es el giro del plato master de 60° , con este giro se consigue la conexión entre los conductos de aire comprimido del plato master con los conductos del plato tool.

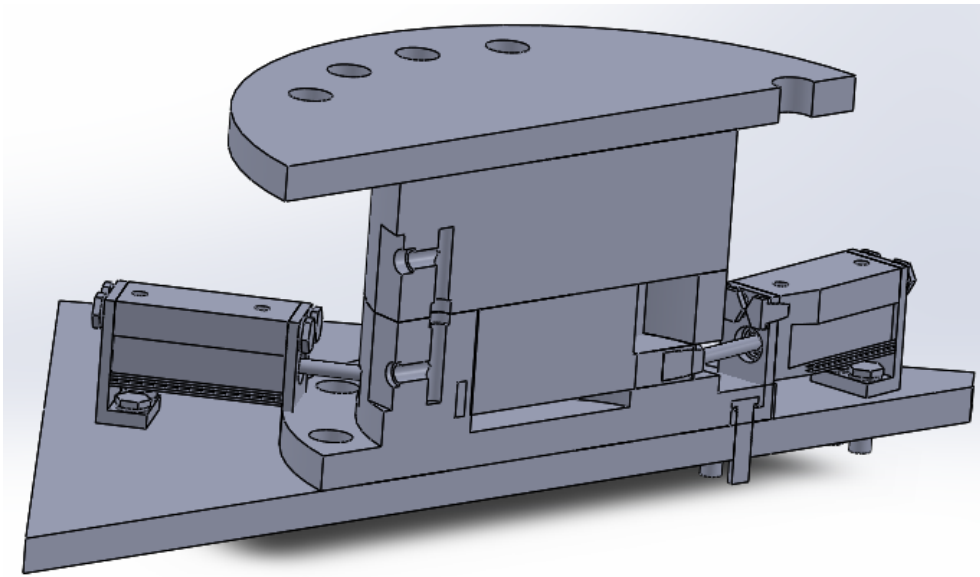


Figura 62 Sección transversal del cambiador de herramienta.

La **Figura 62** representa el corte transversal del cambiador de herramienta después del giro del plato master. Se aprecia la conexión entre los dos conductos de aire comprimido.

Para conseguir una estanquidad entre las conexiones del conducto del plato master y el plato tool, se utiliza una junta torica especial, debido a que nuestro sistema además del movimiento vertical entre los dos platos, se produce un giro de 60° , este giro nos impide el uso de una junta torica simple.

Se necesita una junta torica que tenga la capacidad de comprimirse cuando se produzca el encaje entre las dos partes del cambiador de herramienta, esta junta tiene que generar una fuerza hacia la superficie del plato master para reducir las pérdidas del aire comprimido que puede filtrarse entre la conexión de los dos conductos.

La junta torica TC FN de la marca SOFMI cumple con nuestras restricciones, debido a que esta junta dota de un muelle simple que le permite comprimirse. La junta torica se dispone de varios materiales como pueden ser cerámica, grafito, plástico...



Figura 63 Junta torica con muelle simple. (sofmi, s.f.)

La **Figura 63** representa la junta torica que se fija en las ranuras del plato Tool para minimizar las pérdidas del aire comprimido.

Una vez que el macho del plato master se introduzca en la ranura del plato tool, este presiona a la junta torica TC FN, provocando que esta se comprima. El muelle tiende a crear una fuerza de empuje de la parte superior de la junta torica con la superficie de contacto del plato master con el plato tool. Cuando el plato master realiza el giro de 60° se produce la conexión de los dos conductos de los dos platos, la fuerza de empuje de la junta torica nos garantiza minimizar las perdidas por fuga en la conexión de los dos platos.

4. Expulsión de los vástagos

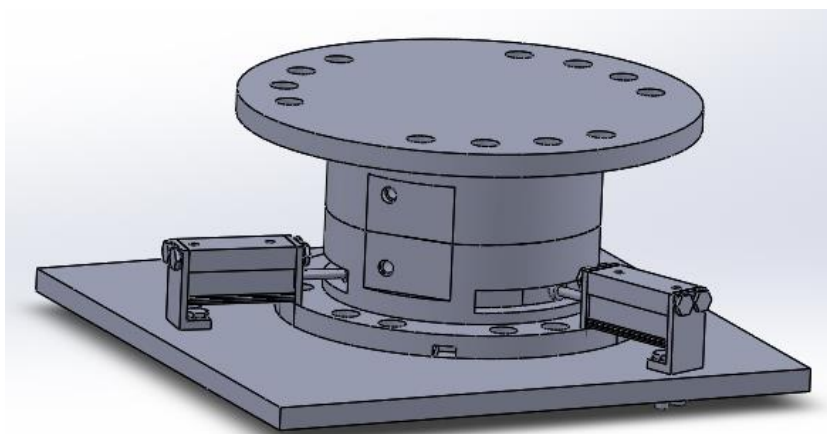


Figura 64 Acoplamiento del plato master y el plato tool con expulsión de los vástagos.

La **Figura 64** representa el último movimiento del acoplamiento, para sellar la conexión entre el plato master y el plato tool.

Después de que el plato master realice el giro y se produzca la conexión entre los conductos y con ello el paso del aire comprimido entre el plato master y el plato tool, mediante el aire comprimido que llega a los cilindros, estos se activan y se produce la expulsión del vástago de los tres cilindros situados a 120° entre sí. En el extremo del vástago se encuentra roscada una pieza que encaja en la ranura entre el plato master y el plato tool, esta pieza hace de tope. Esto nos proporciona la fijación de las dos partes y con ello evitamos la expulsión del plato.

6.1.7. Conclusión

6.1.7.1. El sistema no es fiable.

La conexión entre el plato master y el plato tool solo nos permite la transmisión de aire comprimido y no hay una transmisión eléctrica, esto condena a los cilindros del plato tool no poder llevar finales de carrera, por lo tanto, en el movimiento 4 (expulsión del vástago) que sirve de fijación entre los dos platos, no podemos garantizar la expulsión de los tres cilindros debido a que nuestro sistema no es capaz de detectar la posición del vástago. Por lo tanto, debido a cualquier avería que puedan tener los cilindros que impida la expulsión del vástago, el sistema seguirá su proceso sin detenerse, esto puede provocar la expulsión del plato tool con la herramienta a gran velocidad y generar daños considerables.

6.1.7.2. No es eficiente.

El sistema de cambio de herramienta diseñado no es eficiente, debido a que para cada herramienta tiene que llevar tres cilindros y un generador de vacío.

6.1.7.3. Grandes pérdidas de aire comprimido.

El sistema diseñado de cambio de herramienta presentara grandes pérdidas de aire comprimido a largo plazo, esto se debe a que a la hora del giro del plato master se produce un roce entre la junta torica comprimible y el plato master, este roce produce un desgaste de la junta torica y con ello el aumento de las fugas del aire comprimido entre la conexión de los dos conductos.

6.1.8. Posibles soluciones

1. Observando que el plato master este fijo a la muñeca del robot y además tiene conexión eléctrica y neumática con el robot, los problemas de que el sistema no es fiable y no es eficiente, se puede solucionar haciendo un simple cambio de las dos partes que constituyen nuestro cambiador de herramienta.

Este cambio consiste en convertir el plato master en el plato tool y el plato tool en el plato master. Con esto conseguimos que el sistema sea fiable debido a que los cilindros tienen acceso a corriente eléctrica, por lo tanto, pueden llevar detector magnético de posición que transmitirá una señal al sistema cuando el vástago esta expulsado.

Por otro lado, la eficiencia del sistema aumenta, por consecuencia de cambio entre las dos partes del cambiador de herramienta, los cilindros ahora se sitúan en el plato master, con esto conseguimos reducir nuestro sistema de 9 cilindros (3 cilindros por herramienta) a 3 cilindros, además se reducir el sistema de 3 eyectores o generadores de vacío (uno por cada herramienta) a un único eyector o generador de vacío situado en el robot.

2. Para evitar las grandes pérdidas del aire comprimido o del efecto de sección que se produce por el desgaste de la junta torica por el rozamiento con la cara superior del plato master. Se procede a realizar los siguientes cambios.

Los conductos se trasladan al centro del cambiador de herramienta, la conexión entre ambos canales se lleva a cabo por el encaje de dos conos con una junta torica para minimizar las perdidas, con esto garantizamos la conexión entre el conducto del plato master con el conducto de plato tool con el simple encaje de los platos, y también evitamos problemas de desgaste o precisión de encaje de los dos agujeros de los conductos, debidos al giro del plato master.

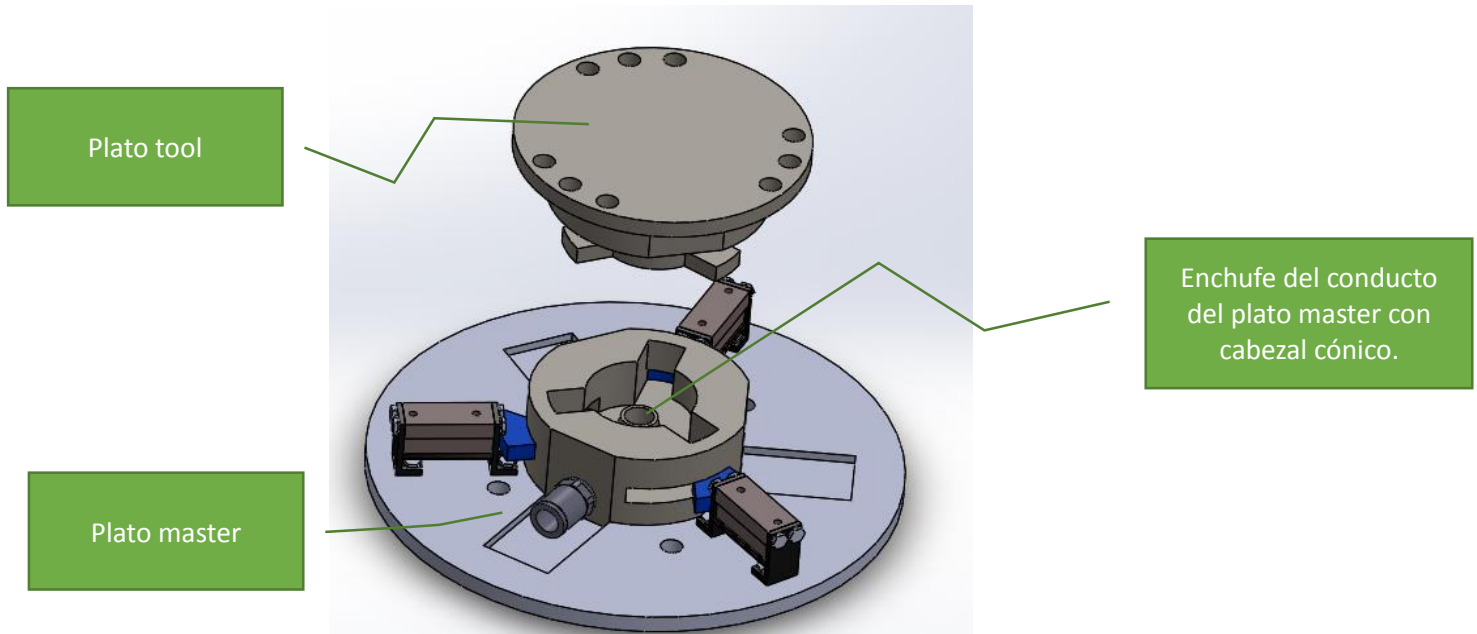


Figura 65 nuevo diseño del cambiador de herramienta

La **Figura 65** representa el nuevo diseño con las mejoras del cambiador de del cambiador de herramienta.

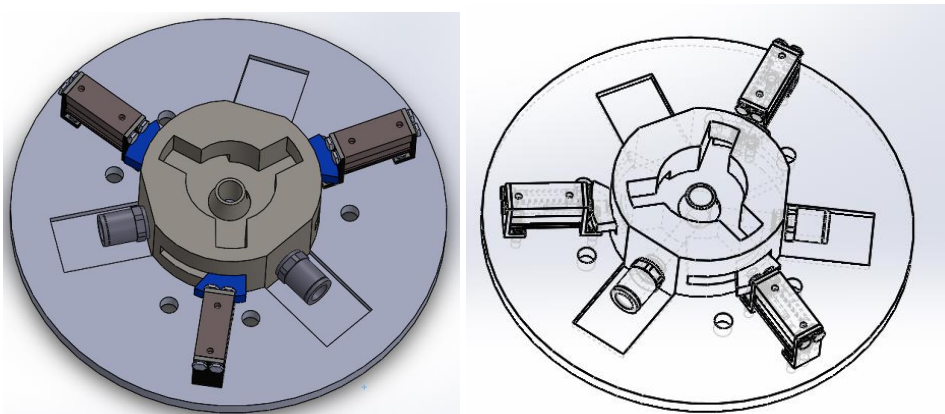


Figura 66 Plato master

En la **Figura 66** se puede apreciar los dos conductos del plato master que desembocan en el centro de este, para una conexión posterior con el plato tool. El plato tool esta soldado a su pieza base, la base sirve de fijación del plato master con la muñeca del robot.

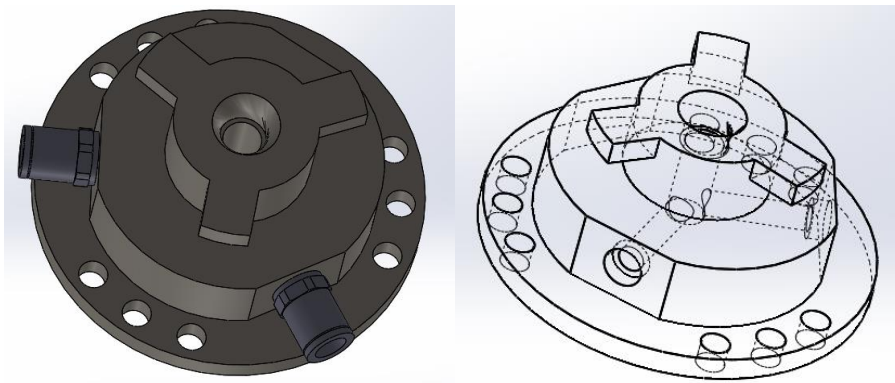


Figura 67 Plato tool

En la **Figura 67** se puede apreciar los dos conductos del plato tool que desembocan en el centro de este.

6.2. Diseño de la herramienta

Como hemos mencionado anteriormente, las herramientas consisten en un sistema de ventosas. Para que nuestro sistema de ventosas tenga la capacidad de manipular y adaptarse a un alto porcentaje de piezas de diversas geometrías, este constará de 3 grippers o herramienta de trabajo de dimensiones diferente.

- La herramienta 1 constará de un sistema de ventosas de dimensiones 100 x 90 mm que nos permitirá la evacuación de las piezas de dimensiones desde 100 x 90 mm hasta 300 x 300 mm y un peso máximo de la pieza de 5 Kg.
- La herramienta 2 está formada por un sistema de ventosas con unas dimensiones de 300 x 120 mm con capacidad de evacuar piezas de dimensiones desde 300 x 120 mm hasta 600 x 300 mm y un peso máximo de la pieza de 18 Kg
- La herramienta 3 se constituye por un sistema de ventosas con unas dimensiones de 600 x 200 mm capaz de evacuar piezas de dimensiones desde 600 x 200 hasta 1200 x 600 mm y un peso de pieza máximo de 40 Kg.

6.2.1. Procedimientos para dimensionar nuestro sistema

Para hacer un correcto dimensionamiento de nuestro sistema de ventosas que desempeña la función de sujeción de las piezas por medio de la técnica de vacío, se debe cumplir un esquema de operaciones que se mencionara a continuación.

6.2.1.1. Cálculos de fuerzas

Los siguientes cálculos nos sirven de apoyo para la selección de la ventosa óptima para nuestras condiciones de trabajo.

❖ Caso de carga I

Las ventosas se colocan horizontalmente sobre una pieza que debe ser desplazada lateralmente.

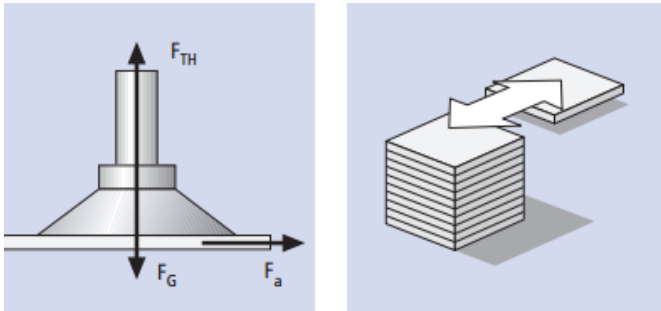


Figura 68 Movimiento de la pieza en el plano horizontal

En la **Figura 68** se puede observar que la ventosa se sitúa verticalmente sobre la pieza, el movimiento de la pieza es horizontal

- Datos de la pieza

I. Condiciones de la superficie:

Las condiciones de la superficie de las piezas que vamos a manipular en la mayoría de los casos es lisa excepto en el caso del acero lagrimado y estriado, para esta excepción la chapa se cargara boca bajo debido a que en la parte inferior de la chapa de acero lagrimado y estriado tiene un acabado superficial liso.

II. Peso:

El peso máximo que puede alcanzar la pieza que se manipulara es de 40 Kg calculado anteriormente.

- ✓ Sistema de ventosas 1: 5 (Kg)
- ✓ Sistema de ventosas 2: 18 (Kg)
- ✓ Sistema de ventosas 3: 40 (Kg)

III. Dimensiones:

El rango de las dimensiones de las piezas esta entre 100 x 80 mm y 1200 x 700 mm.

IV. Temperatura:

La temperatura máxima que puede alcanzar una pieza cortada es de 90°C.

V. Geometría:

En cuanto a la geometría de la pieza a manipular, hay diversas geometrías diferentes, nuestro

sistema de microventosas debe adaptarse a la geometría de la pieza a manipular.

VI. Material:

Todas las piezas que se manipularan por el sistema de ventosas son metálicas (aluminio, acero lagrimado y estriado, acero al carbono, acero inoxidable, Galvanizado.)

- Sistema de manipulación

Sistema utilizado: Robot industrial KUKA apoyado sobre una base móvil (corredera)

Aire comprimido disponible: la presión del aire que se utiliza en el taller de la empresa SINASE es de 10 bar con un regulador que nos permite reducir esta presión a la deseada.

Proceso de trabajo: Transporte horizontal-horizontal, se eleva la pieza y se transporta horizontalmente al almacén de piezas, se coloca dicha pieza de forma apilada a las anteriores.

Aceleración máxima: Aceleración de la base móvil (corredera) en el eje X $\approx 2 \text{ (m/s}^2\text{)}$

Tiempo previsto = Para aspirar < 1 segundo
 Para descargar < 1 segundo

La fuerza de retención teórica de la ventosa se calcula mediante la siguiente formula:

$$F_{TH} = m \times (g + a/\mu) \times S$$

F_{TH} = Fuerza de retención teórica [N]

F_a = Fuerza de aceleración = $m \times a$

m = Masa [kg]

g = Aceleración terrestre [9,81 m/s²]

a = Aceleración [m/s²] de la instalación

μ = Coef. de fricción = 0,1 para superficies aceitadas
 = 0,2 . . . 0,3 para superficies húmedas
 = 0,5 para madera, metal, vidrio, piedra...
 = 0,6 para superficies rugosas

S = Seguridad (valor mínimo 1,5 veces de seguridad, en el caso de piezas críticas, heterogéneas o porosas, o bien en el caso de superficies rugosas, 2,0 o mayor)

Fuerza de retención Sistema de ventosas 1

$$F_{TH} = m \times (g + a/\mu) \times S = 5 \times (9.81+2/0.5) \times 2 = \mathbf{138.1N}$$

Fuerza de retención Sistema de ventosas 2

$$F_{TH} = m \times (g + a/\mu) \times S = 18 \times (9.81+2/0.5) \times 2 = \mathbf{497.16N}$$

Fuerza de retención Sistema de ventosas 3

$$F_{TH} = m \times (g + a/\mu) \times S = 40 \times (9.81+2/0.5) \times 2 = \mathbf{1104.8N}$$

6.2.1.2. Selección de la ventosa

Para hacer la selección de la ventosa hay que tener en cuenta algunas características:

I. Funcionamiento de la ventosa

La ventosa es el miembro de unión entre la pieza y el sistema de manipulación. La ventosa se utiliza para agarrar y mover una pieza en una instalación con un robot. Al hacerlo, la ventosa no se adhiere mediante aspiración a la pieza, sino que la presión ambiental (presión atmosférica) presiona la pieza contra la ventosa. Para ello, la presión ambiental debe ser mayor que la presión existente entre la ventosa y la pieza.

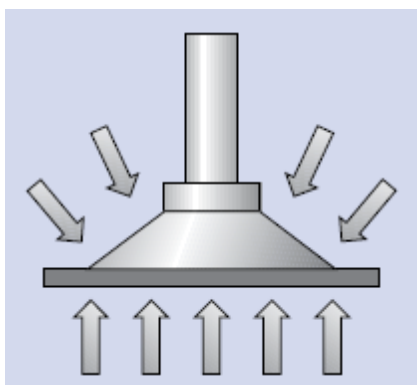


Figura 69 Ventosas con las fuerzas

En la **Figura 69** se puede observar las fuerzas que actúan sobre una ventosa debido a la variación entre la presión ambiental y la presión en el interior de la ventosa.

Esta diferencia de presión se consigue conectando a la ventosa un generador de vacío. El generador de vacío aspira el aire entre la ventosa y la pieza, a lo que también se le llama evacuación del aire. En cuanto la ventosa entra en contacto con la superficie de la pieza y se sella contra la presión ambiental, se genera la depresión necesaria.

(SCHMALZ)

II. Aceleración

Además del peso de la pieza, las ventosas deben soportar también las fuerzas de aceleración que actúan sobre la pieza. Éstas no se deben ignorar nunca en una instalación completamente automática. A no ser que la pieza esté en reposo, hay que considerar todas las fuerzas de aceleración que actúan sobre la pieza, también aquellas fuerzas de frenado y desaceleración cuando se trata de paradas inmediatas.

W= Peso de la pieza de trabajo.

F= Fuerza de aceleración.

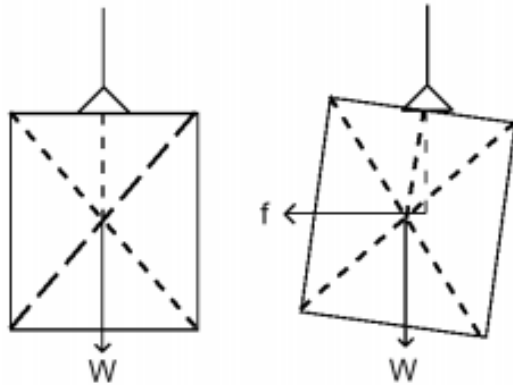


Figura 70 peso de la pieza y la fuerza de aceleración

En la **Figura 70** se puede observar cómo afecta la fuerza de aceleración a la estabilidad de la pieza a evacuar.

III. Centro de Gravedad (equilibrio)

Para evitar mala elevación de la pieza y posible caída de la pieza, la ventosa tiene que realizar la succión en el centro de gravedad de la pieza, cuando se utiliza un equipo de ventosas, es decir, un sistema múltiple la pieza de trabajo debe estar en equilibrio con el sistema de ventosas.

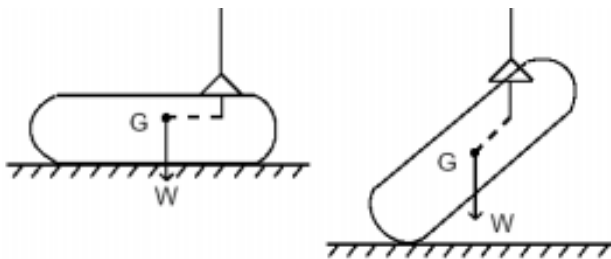


Figura 71 Estabilidad en el Centro de Gravedad

En la **Figura 71** se muestra como se eleva la pieza de trabajo cuando la ventosa se sitúa a una distancia del Centro de Gravedad.

(SCHMALZ)

IV. determinación de la forma de la ventosa

Las ventosas de vacío están disponibles en versión plana, cóncava, plana fina, con nervio, ovalada, etc. Seleccionar la forma óptima en función de la pieza de trabajo y del entorno de trabajo.


Forma de ventosa	Aplicación
Plana 	Utilizar cuando la superficie de adsorción de la pieza es plana y no está deformada.
Plana con nervio 	Utilizar cuando la pieza tiende a deformarse o para garantizar la liberación de la pieza.
Cóncava 	Utilizar con piezas curvadas.
Fuelle 	Utilizar cuando no existe suficiente espacio para instalar un telescópico o cuando la superficie de adsorción de la pieza está inclinada.
Ovalada 	Utilizar cuando la pieza tiene una superficie de adsorción limitada o una gran longitud y la posición de la pieza debe fijarse de forma precisa.
Rótula 	Utilizar cuando la superficie de adsorción de la pieza no es horizontal.
Telescópico de largo recorrido 	Utilizar si la altura de la pieza no es uniforme o si se requiere amortiguación.
Grande 	Utilizar con piezas pesadas
Conductiva 	Como medida para evitar la electricidad estática, se utiliza material de goma con reducida resistencia eléctrica. Para medidas antiestáticas

Tabla 19 Forma de ventosa y sus aplicaciones

La **Tabla 19** demuestra las diversas formas que pueden tener las diferentes ventosas y sus aplicaciones.

V. Material de la ventosa

Es necesario determinar detenidamente los materiales de la ventosa teniendo en cuenta la forma de la pieza de trabajo y del entorno de trabajo.

Material	Aplicación
NBR	Transferencia de piezas de trabajo en general, cartón corrugado, placa chapada de madera, placa de acero y otros
Silicona	Semiconductor, extracción de piezas fundidas, piezas finas, sector alimentación
Uretano	Cartón corrugado, placa de acero y placa chapada en madera
FKM (goma fluorada)	Contacto con sustancias químicas
NBR conductivo	Piezas de trabajo generales de semiconductores (resistencia a electricidad estática)
Goma de silicona conductiva	Semiconductor (electricidad estática)

Tabla 20 Material de la ventosa y aplicaciones

La **Tabla 20** demuestra los diferentes materiales que tienen las ventosas y las aplicaciones a las que están destinadas.

Nombre general		NBR (Caucho nitrilo)	Goma de silicona	Goma de uretano	FKM (Goma fluorada)	CR (Goma de cloropreno)	EPR (Goma de etileno-propileno)	NBR conductivo (Goma de nitrilo)	Goma de silicona conductiva	Esponja de silicona conductiva	Esponja de CR conductiva (Esponja de cloropreno)
Características principales		Buena resistencia al aceite, la abrasión y el envejecimiento	Excelente resistencia al calor y al frío	Gran resistencia mecánica	Máxima resistencia térmica y resistencia a prod. químicos	Buen equilibrio de resistencia a la intemperie, al ozono y a los prod. químicos	Buena resistencia al envejecimiento, al ozono y buenas propiedades eléctricas	Buena resistencia al aceite, la abrasión y el envejecimiento. Conductiva	Más que excelente resistencia al calor y al frío. Conductiva	Excelente aislamiento térmico y resistencia a impactos	Excelente resistencia a impactos y aislamiento acústico. Retardancia de llama
Propiedad de la goma pura (peso específico)		1.00-1.20	0.95-0.98	1.00-1.30	1.80-1.82	1.15-1.25	0.86-0.87	1.00-1.20	0.95-0.98	0.4 g/cm ³	0.161 g/cm ³
Propiedades físicas de la goma fundida	Resistencia a impactos	○	◎	◎	△	◎	○	○	◎	×/△	×/△
	Resistencia a la abrasión	◎	×/△	◎	◎	◎	○	◎	×/△	×	×
	Resistencia al desgarro	○	×/△	◎	○	○	△	○	×/△	×	×
	Resistencia al rajado por flexión	○	×/○	◎	○	○	○	○	×/○	×	×
	Temperatura máx. de trabajo °C	120	200	60	250	150	150	100	200	180	120
	Temperatura mín. de trabajo °C	0	-30	0	0	-40	-20	0	-10	-30	-20
	Resistividad de volumen (cm)	—	—	—	—	—	—	10 ⁴ o menos	10 ⁴ o menos	4.8 x 10 ⁴	3.8 x 10 ⁴
	Envejecimiento por calor	○	◎	△	◎	○	○	○	◎	△	△
	Resistencia a la intemperie	○	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	△	△
	Resistencia al ozono	△	◎	◎	◎	○	◎	△	◎	△	△
	Resistencia a la permeabilidad de gases	○	×/△	×/△	×/△	○	×/△	○	×/△	×	×
Resistencia a los productos químicos	Gasolina/Gasóleo	◎	×/△	◎	◎	○	×	◎	×/△	×	×
	Benceno/Tolueno	×/△	×	×/△	◎	×/△	×	×/△	×	×	×
	Alcohol	◎	◎	△	△/◎	◎	◎	◎	◎	△	△
	Éter	×/△	×/△	×	×/△	×/△	○	×/△	×/△	×	×
	Cetona (MEK)	×	○	×	×	△/○	◎	×	○	×	×
	Acetato de etilo	×/△	△	×/△	×	×/△	◎	×/△	△	×	×
Resistencia a bases	Agua	◎	○	△	◎	◎	◎	◎	○	○	○
	Ácido orgánico	×/△	○	×	△/○	×/△	×	×/△	○	×	×
	Ácido orgánico a alta concentración	△/○	△	×	◎	○	○	△/○	△	×	×
	Ácido orgánico a baja concentración	○	○	△	◎	◎	◎	○	○	×	×
	Base fuerte	○	◎	×	○	◎	◎	○	◎	△	△
	Base débil	○	◎	×	○	◎	◎	○	◎	△	△

◎ = Excelente --- No resulta afectado en absoluto o resulta afectado en muy bajo grado

○ = Buena --- Resulte levemente afectado, pero presenta una resistencia adecuada dependiendo de las condiciones.

△ = No se recomienda su uso

× = No adecuado para el uso. Resulta gravemente afectado.

* Las propiedades, la resistencia química y otros valores no están garantizados. Dichos valores dependen del entorno de trabajo, por lo que SMC no puede garantizarlos. Antes de usarlos, es necesario llevar a cabo pruebas y confirmaciones.

Tabla 21 Propiedades de la ventosa en función del material

La **Tabla 21** representa las diferentes propiedades de la ventosa en función del material de

esta, esta tabla es la base para la selección de la ventosa. (SMC)

VI. Selección de la ventosa

Nos decidimos por la ventosa tipo campana SAXM



Figura 72 Ventosa SAXM. (SCHMALZ)

La **Figura 72** es la representación de la ventosa SAXM que hemos seleccionado para nuestras herramientas debido a las características especiales de esta.

- Aplicaciones
 - ✓ Ventosa para alta velocidad de proceso con grandes fuerzas de retención vertical y lateral para la manipulación rápida de chapas y componentes de carrocería
 - ✓ Manipulación de piezas con superficie aceitada
 - ✓ Carga y descarga de máquinas de mecanizado de metal CNC y de máquinas de corte por láser
 - ✓ Manipulación de platinas en desapiladores de chapa
 - ✓ Manipulación de piezas con superficies convexas
- Diseño
 - ✓ Ventosa tipo campana redonda (2) con labio sellador flexible, óptima estructura interior, ranura de aceite especial y apoyo Interior
 - ✓ Material con una gran resistencia al desgaste, tanto en la ventosa (ED-85) como en el disco de fricción (ED-65)
 - ✓ Conector Schmalz (SC) de dos piezas compuesto de conector superior (1) y conector inferior incl. disco de fricción (3)
 - ✓ Conector inferior con protección para que no se pierda
 - ✓ Las boquillas con rosca macho disponen de una junta integrada en la rosca de fijación
 - ✓ Disponible como ventosa montada o en piezas sueltas

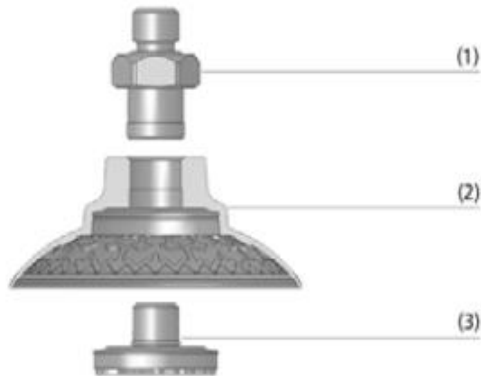


Figura 73 Despiece de la ventosa SAXM

La **Figura 73** es la representación de las diferentes partes que constituyen la ventosa SAXM que hemos seleccionado para nuestras herramientas.

- **Calculo de la fuerza de aspiración F_s (N)**

Cada sistema de ventosas consta de 8 ventosas, por lo tanto, la fuerza de aspiración de cada ventosa será:

$$F_s = F_{TH} / n$$

F_s = Fuerza de aspiración

F_{TH} = Fuerza de retención teórica

n = Numero de ventosas

- **Sistema de ventosas 1**

$$F_s = F_{TH} / n = 138.1 / 8 = \mathbf{17.26 \text{ N}}$$

Según los datos técnicos de la ventosa SAXM, son necesarios 8 ventosas SAXM 20 ED-85 con un diámetro de 20 mm y una fuerza de aspiración de 20 N cada ventosa.

- **Sistema de ventosas 2**

$$F_s = F_{TH} / n = 497.16 / 8 = \mathbf{62.145 \text{ N}}$$

Según los datos técnicos de la ventosa SAXM, son necesarios 8 ventosas SAXM 40 ED-85 con un diámetro de 40 mm y una fuerza de aspiración de 69 N cada ventosa.

- **Sistema de ventosas 3**

$$F_s = F_{TH} / n = 1104.8 / 8 = \mathbf{138.1 \text{ N}}$$

Según los datos técnicos de la ventosa SAXM, son necesarios 8 ventosas SAXM 60 ED-85 con un diámetro de 60 mm y una fuerza de aspiración de 154 N cada ventosa.

- Datos técnicos de la ventosa

Modelo	Fuerza aspiración [N]*	Fuerza lateral [N]**	Fuerza superficie aceiteada [N]**	Volumen [cm³]	Radio de curvatura min. [mm] (convexa)	Diámetro interior tubo recom. d [mm]***
SAXM 20 ED-85 SC045	20	15	20	2,7	20	5
SAXM 30 ED-85 SC045	39	32	41	4,5	18	5
SAXM 40 ED-85 SC045	69	38	71	8,3	25	5
SAXM 50 ED-85 SC055	109	58	110	18,0	25	6
SAXM 60 ED-85 SC055	154	85	155	27,7	30	6
SAXM 80 ED-85 SC055	270	150	269	55,5	33	6
SAXM 100 ED-85 SC065	412	230	414	104,1	40	6
SAXM 115 ED-85 SC065	549	320	584	150,1	50	6

Tabla 22 Datos técnicos de la ventosa

a **Tabla 22** representa los datos técnicos de las ventosas seleccionadas para nuestras herramientas.

❖ **Caso de carga II – Ventosa vertical, fuerza vertical**

El caso de carga (I) no representa el 100% de la evacuación de las piezas, debido a que hay un porcentaje pequeño menor que el 5% de las piezas en el que la trayectoria de movimiento de la pieza no es solo horizontal, sino, que hay un de giro de 90° de la pieza.

Hay casos en la que la pieza a evacuar tiene que pasar por un proceso de taladrado para perforarle unos agujeros laterales, en este caso nos interesa apilar las piezas sobre un plano vertical para facilitar el siguiente proceso de taladrado.

Descripción del caso de carga II: En este caso la pieza se eleva y se transporta mediante un movimiento de giro con una aceleración de 2 m/s^2 .

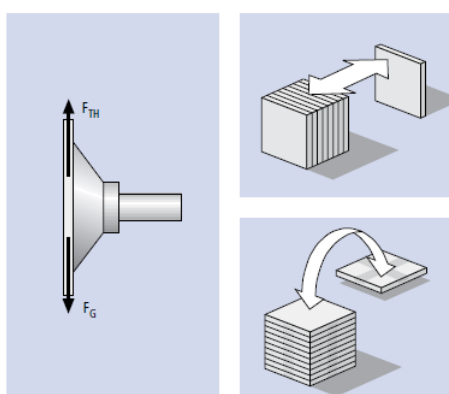


Figura 74 Movimiento con un giro de 180°

En la **Figura 74** se puede observar que la ventosa se sitúa en el plano vertical, el movimiento de la pieza con un giro de hasta 180°

En este caso partimos desde las dimensiones de herramienta obtenidas en el caso de carga (I), para limitar el peso que puede soportar la herramienta, cuando la pieza a evacuar requiere una apelación vertical.

$$F_S = F_{TH} / n \rightarrow F_{TH} = F_S \times n$$

F_S = Fuerza de aspiración

F_{TH} = Fuerza de retención teórica

n = Numero de ventosas

- El sistema de ventosas 1 consta de ocho ventosas SAXM de 20 milímetros de diámetro, cada ventosa tiene una fuerza de aspiración de 20 N, por lo tanto, la fuerza del sistema es de:

$$F_{TH1} = F_S \times n = 20 \times 8 = 160 \text{ N}$$

- El sistema de ventosas 1 contiene de ocho ventosas SAXM de 40 milímetros de diámetro, cada ventosa tiene una fuerza de aspiración de 69 N, por lo tanto, la fuerza del sistema es de:

$$F_{TH2} = F_S \times n = 69 \times 8 = 552 \text{ N}$$

- El sistema de ventosas 1 está formado de ocho ventosas SAXM de 60 milímetros de diámetro, cada ventosa tiene una fuerza de aspiración de 154 N, por lo tanto, la fuerza del sistema es de:

$$F_{TH3} = F_S \times n = 154 \times 8 = 1232 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza de retención que puede soportar cada herramienta, mediante la fórmula de la fuerza de retención, se despeja la masa máxima que puede llegar a tener una pieza para el caso de dicha fuerza de retención.

$$F_{TH} = (m/\mu) \times (g + a) \times S \rightarrow m = (F_{TH} \times \mu) / ((g + a) \times S)$$

F_{TH} = Fuerza de retención teórica [N]

F_a = Fuerza de aceleración = $m \times a$

m = Masa [kg]

g = Aceleración terrestre [9,81 m/s²]

a = Aceleración [m/s²] de la instalación (iténgase en cuenta la situación de parada de emergencia!)

μ = Coef. de fricción = 0,1 para superficies aceitadas

= 0,2 . . . 0,3 para superficies húmedas

= 0,5 para madera, metal, vidrio, piedra...

= 0,6 para superficies rugosas

S = Seguridad (valor mínimo 1,5 veces de seguridad, en el caso de piezas críticas, heterogéneas o porosas, o bien en el caso de superficies rugosas, 2,0 o mayor)

- Sistema de ventosas 1

$$m_1 = (F_{TH1} \times \mu) / ((g + a) \times S) = (160 \times 0.5) / ((9.81 + 2) \times 2) = 3.39 \text{ Kg}$$

- Sistema de ventosas 2

$$m_2 = (F_{TH2} \times \mu) / ((g + a) \times S) = (552 \times 0.5) / ((9.81 + 2) \times 2) = 11.68 \text{ Kg}$$

- Sistema de ventosas 3

$$m_3 = (F_{TH3} \times \mu) / ((g + a) \times S) = (1232 \times 0.5) / ((9.81 + 2) \times 2) = 26.08 \text{ Kg}$$

Podemos observar que en este caso el peso máximo de la pieza a evacuar descendiendo en el:

- ✓ Sistema de ventosas 1 de 5 Kg a 3.39 Kg
- ✓ Sistema de ventosas 2 de 18 Kg a 11.68 Kg
- ✓ Sistema de ventosas 3 de 40 Kg a 26.08 Kg

6.2.2. Descripción de las partes de la herramienta

Para poder hacer un diseño eficaz de las herramientas, primero procederemos a la selección de las diferentes partes que constituyen nuestras herramientas.

A continuación, procederemos a la explicación de cada elemento de nuestra herramienta.

6.2.2.1. Tubos Flexibles



Figura 75 Tubo flexible. (SCHMALZ)

En la **Figura 75** Representa los diferentes tipos de tubo flexible en función de los diámetros

Los tubos flexibles para la transmisión de aire comprimido o transmisión del efecto de succión se eligen según el nivel de los flujos y el tamaño de las ventosas, para las ventosas seleccionadas anteriormente, el fabricante recomienda un tubo con un diámetro interior entre 5 y 6 mm.

El tubo seleccionado para nuestro caso es el Tubo flexible de vacío VSL 8-6 PE.

Según la **figura 76** el tubo que conecta el (plato master) con el distribuidor es un tubo flexible VSL 14-11 PU con un diámetro interior de 11 mm y diámetro exterior de 14 mm.

Dimensionamiento de distribuciones de tubos flexibles;

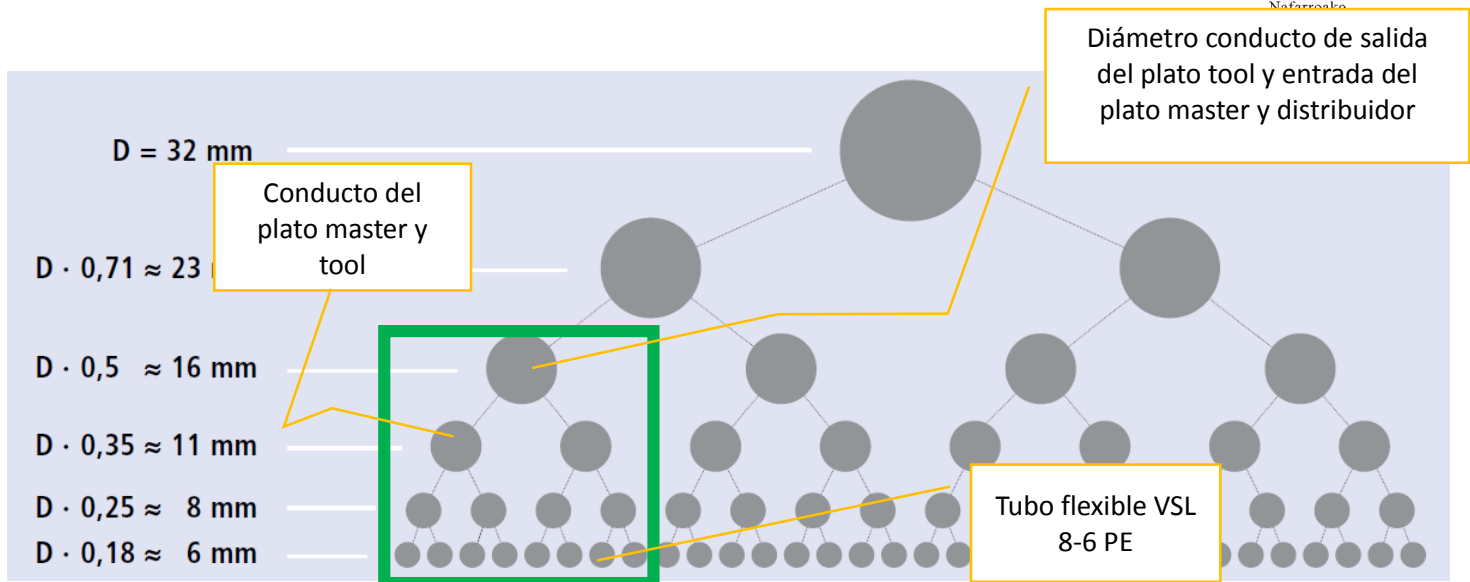


Figura 76 Equivalencia de los tubos en función del diámetro interior.

En la **Figura 76** se puede observar que un tubo flexible con un diámetro interior de $D = 32 \text{ mm}$ tiene un flujo correspondiente a la de 32 tubos flexibles con diámetro interior de 6 mm o la de 4 tubos flexibles con diámetro interior de 16 mm .

En nuestro caso la parte del cambiador de herramienta acoplada a la muñeca del robot (plato master) tiene dos entradas para conectar en tubo flexible procedente del generador de vacío con un diámetro interior de 11 mm , estos dos canales desembocan en el conducto del plato master de 16 mm de diámetro interior, este conducto es que se acopla al conducto del plato tool para generar las transmisiones desde el plato master al plato tool.

Del plato tool se extraen dos conductos con un diámetro interior de 11 mm . Mediante un tubo flexible VSL 14-11 PU de diámetro interior de 11 mm y exterior 14 mm se conecta el plato tool con el distribuidor. Del distribuidor se conectan las 4 salidas de este a sus ventosas correspondientes por medio del tubo flexible de vacío VSL 8-6 PE.

- Datos técnicos tubo de aire comprimido / vacío VSL

Modelo	Material	Margen presión (presión servicio) [bar]*	Temperatura de trabajo [°C]	Radio de flexión min. [mm]**	Longitud (máx) [m]**
VSL 4-2 PE	PE	-0,95 ... 10,00	-40 ... 90	20	100
VSL 4-2 PU	PU	-0,95 ... 10,00	-20 ... 90	20	50
VSL 4-2.7 PA	PA	-0,95 ... 20,00	-40 ... 90	30	50
VSL 6-4 PE	PE	-0,95 ... 10,00	-50 ... 65	35	100
VSL 6-4 PU	PU	-0,95 ... 10,00	-20 ... 90	35	500
VSL 8-6 PE	PE	-0,95 ... 10,00	-50 ... 65	45	100
VSL 8-6 PU	PU	-0,95 ... 10,00	-20 ... 90	45	500
VSL 10-7 PE	PE	-0,95 ... 10,00	-30 ... 70	60	50
VSL 10-7 PU	PU	-0,95 ... 10,00	-40 ... 85	60	50
VSL 12-9 PE	PE	-0,95 ... 10,00	-20 ... 70	70	100
VSL 12-9 PU	PU	-0,95 ... 10,00	-20 ... 90	70	50
VSL 14-11 PU	PU	-0,95 ... 10,00	-20 ... 90	100	100
VSL 15-9 PVC-G	PVC, con tejido	-0,95 ... 10,00	-20 ... 70	50	50
VSL 18-12 PVC-DS	PVC, con espiral alambre	-0,90 ... 5,00	-20 ... 70	85	30

*A una temperatura del medio y una temperatura ambiente de +20°C

**Respecto al lado interior del codo del tubo flexible en estado estático

Tabla 23 Datos técnicos de los tubos flexibles.

La **Tabla 23** representa los datos técnicos de los tubos flexibles, se puede observar los tubos flexibles seleccionados para nuestro caso

6.2.2.2. Distribuidores



Figura 77 Distribuidor de cuatro salidas. (SCHMALZ)

La **Figura 77** es una representación del distribuidor Parker seleccionado para nuestro sistema.

El distribuidor a utilizar depende del diámetro del tubo flexible y del número de ventosas. Se utilizan para cada herramienta dos distribuidores, cada distribuidor consta de 4 salidas que se conectan a las ventosas. El distribuidor tiene una rosca del agujero de entrada de G3/8 y la de los cuatro agujeros de salida de G1/4.

El agujero de entrada está roscado a un racor STV-GE que conecta al tubo flexible de diámetro interior y exterior 11 mm y 14 mm respectivamente que procede del plato tool con el distribuidor.

Los agujeros de la salida del distribuidor tienen enroscado un racor STV-W que conectan al tubo flexible de diámetro interior de 6 mm y diámetro exterior de 8 mm procedente de las ventosas con el distribuidor.

Especificaciones técnicas

- presión maxi de servicio: 20 bar
- temperatura de utilización: -10 a 80 °C
- Cuerpo: Aluminio tratado

(Parker, s.f.)

6.2.2.3. Generador de vacío

I. Introducción teórica

El vacío es una presión menor a la presión atmosférica. La presión atmosférica a nivel del mar es igual a 1atm= 76cnHg=101300N/m².

Según la ley de Gas ideal;

$$P = \frac{nRT}{V}$$

- P= Presión
- n= Numero de moles
- R= Constante universal de gases
- T= Temperatura (°K)
- V= Volumen

Según la ley de los gases ideales hay tres métodos para reducir la presión:

- La disminución en el número de moles
- Bajar la temperatura
- Aumentar el volumen

El objetivo más importante para la producción de vacío es el de obtenerlo de una forma sencilla y económica. Esto puede lograrse mediante las clásicas bombas de vacío o de generadores estáticos utilizando el aire comprimido como elemento motor.

II. Tipos de generadores de vacío:

a. Generador de vacío neumático

Los generadores de vacío neumáticos realizan tiempos de ciclo cortos y gracias a su diseño compacto y ligero se pueden integrar directamente en el sistema.

El principio de la generación de vacío neumáticamente consiste en una tobera de diámetro Ø se alimenta con aire comprimido. El chorro de aire creado arrastra en sus turbulencias el aire ambiente que luego pasa al mezclador para ser expulsado. Esta acción crea la depresión que genera el vacío deseado.

(coval-iberica, s.f.)

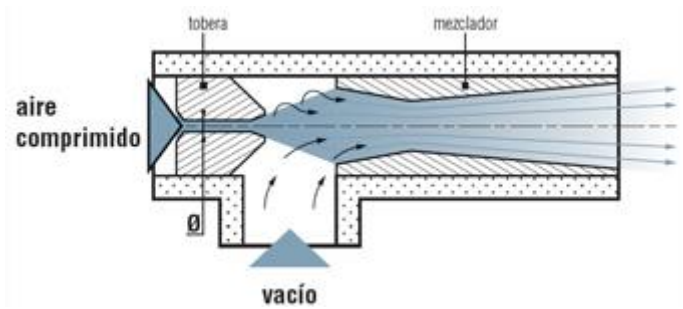


Figura 78 Bombas de vacío Venturi

La **Figura 78** es una representación del funcionamiento de la Bomba de vacío Venturi.

Los generadores de vacío de efecto Venturi presentan numerosas ventajas: técnicas simples y competitivas, sin desgaste reducidas dimensiones, compacto, gran ligereza permitiendo su montaje directamente sobre los sistemas utilizados en robótica. Esta disposición reduce la longitud de las tuberías y mejora el tiempo de respuesta. El efecto Venturi de estos aparatos permite obtener a partir de una fuente de aire comprimido de 2 a 6 bar, un vacío de alrededor de -920 mbar.

La gama comprende 2 tipos de generadores de vacío de efecto Venturi mono y bifásico.

- **Monofásico:** Atravesando la boquilla de eyección del Venturi, la alimentación de aire comprimido (P) provoca una aspiración (V) y crea una depresión en el circuito de presión (-920 mbar a partir de 5 bar). El aire es evacuado a través de un silencioso de escape situado en (E).

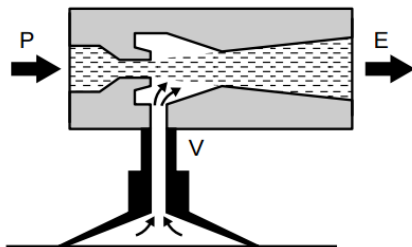


Figura 79 Generador de vacío monofásico

La **Figura 79** es un esquema del funcionamiento del generador de vacío monofásico

- **Bifásico:** De principio parecido al modelo monofásico, este generador se compone de 2 dispositivos de puesta en depresión. Esta construcción permite caudales de aspiración más elevados ($Q_1 + Q_2$). Con una característica fuerte caudal/baja depresión al comienzo de la aspiración, este generador permite reducir los tiempos de puesta en depresión; recomendado para instalaciones voluminosas.

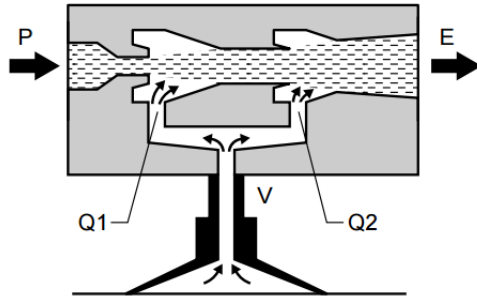
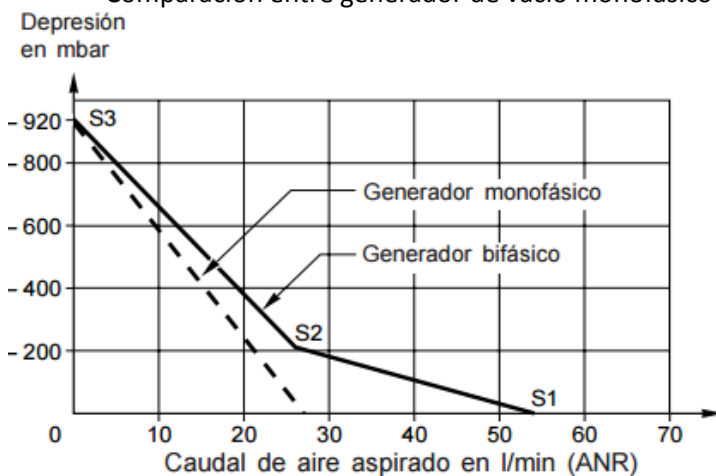


Figura 80 Generador de vacío bifásico

La **Figura 80** es un esquema del funcionamiento del generador de vacío bifásico.

- Comparación entre generador de vacío monofásico y bifásico.



Grafica 4 Variación de la depresión en función del caudal de aire aspirado

La **Grafica 4** representa una comparación entre el generador de vacío monofásico y bifásico, en el que se puede observar la variación de la depresión en función de la variación del aire aspirado

❖ Generador de vacío eléctrico

Los generadores de vacío eléctricos se utilizan en aplicaciones en las que no se dispone de aire comprimido o en las que se requieren elevadas potencias de aspiración.

b. Bombas

Las bombas de vacío alojan una rueda celular colocada excéntricamente con paleta (A). La fuerza centrífuga de la rueda celular presiona estas paletas hacia fuera. De este modo se crean cámaras de distintos tamaños (B) que las laminillas sellan. Cuando una cámara se agranda con la rotación, el aire se expande. La presión del aire descende y se genera depresión (vacío). Con este proceso, el aire se aspira en el lado de aspiración (C) y sale comprimido (aire de escape) por el orificio de salida (D). Por motivo de la buena compresión, las bombas generan un vacío alto y, dependiendo del tipo, disponen de una capacidad de aspiración relativamente alta.

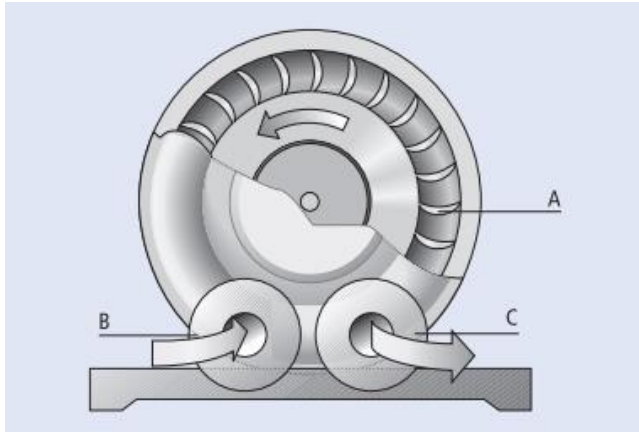


Figura 81 Bomba de vacío

La **Figura 81** representa el principio de funcionamiento de la bomba de vacío

c. Soplantes

Las hojas (A) transportan, aceleran y comprimen el aire según el principio de impulsos. El aire se ve arrastrado por las hojas. De este modo se genera una depresión (vacío) en el lado de aspiración (B). El aire comprimido (aire de salida) sale por el orificio de salida (C). Gracias a un gran volumen de canal de aire y a hojas de forma especial, los soplantes realizan un volumen de aspiración muy alto.

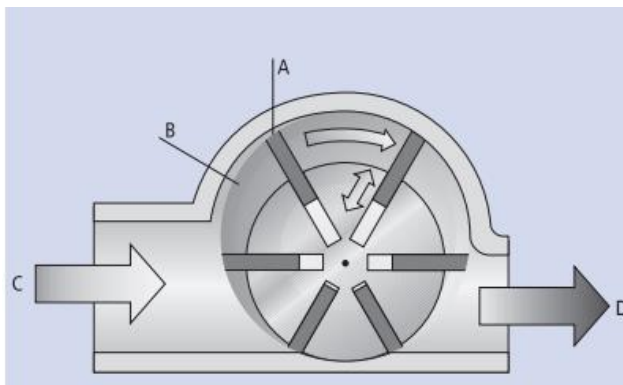


Figura 82 Soplante de vacío

La **Figura 82** representa el principio de funcionamiento de un Soplante. (SCHMALZ)

III. Selección del generador de vacío

La elección del generador de vacío adecuado (eyector, bomba o soplete) viene determinada por varios factores:

- Tipo de las piezas: porosa, compactas para ser aspiradas.
- Alimentación de energía posible: corriente eléctrica, aire comprimido.
- Restricciones de tamaño y peso.

- Mantenimiento de las duraciones de ciclos. ciclos cortos: eyector. Recorridos largos de transporte: Bomba o soplete.
- Capacidad de aspiración del generador de vacío

La capacidad de aspiración de la que debe disponer un generador de vacío para evacuar la vetosas depende del diámetro de la ventosa.

Según el fabricante de sistemas de manipulación por vacío SCHMALZ es recomendado realizar una selección del eyector en función de la siguiente tabla.

Ø de la ventosa	Capacidad de aspiración V_s	
hasta 60 mm	0,5 m ³ /h	8,3 l/min
hasta 120 mm	1,0 m ³ /h	16,6 l/min
hasta 215 mm	2,0 m ³ /h	33,3 l/min
hasta 450 mm	4,0 m ³ /h	66,6 l/min

Tabla 24 Capacidad de aspiración para la evacuación de una ventosa.

La **Tabla 24** representa una tabla que el fabricante SCHMALZ recomendación seguir a la hora de seleccionar un eyector.

Como en nuestros sistemas de ventosas, las ventosas tienen un diámetro máximo de 60 mm la capacidad de aspiración de cada ventosa es de 8.3 l/min.

Calculo de la capacidad de aspiración de la que debe disponer el generador de vacío V (m³/h, l/min).

$$V = n \times V_s = 8 \times 8.3 = 66,4 \text{ l/min}$$

n = Numero de ventosas

V_s = Capacidad de aspiración necesaria para una sola ventosa (m³/h, l/min)

Nos decidimos por un generador de vacío neumático, debido a que estos generadores son muy compactos, ocupan poco espacio, el tiempo de succión y de descarga es muy pequeño y además ofrecen grandes caudales de aire. El eyector seleccionado es el **Eyector compacto SCPI 20** con una capacidad de aspiración de 135 l/min.

❖ Características:

- Manipulación de piezas no porosas o levemente porosas
- Establecimiento y vigilancia del vacío en instalaciones automatizadas
- Aplicaciones Pick-and-Place con ciclos de mínima duración (rápida succión y descarga mediante función Power)

❖ Diseño

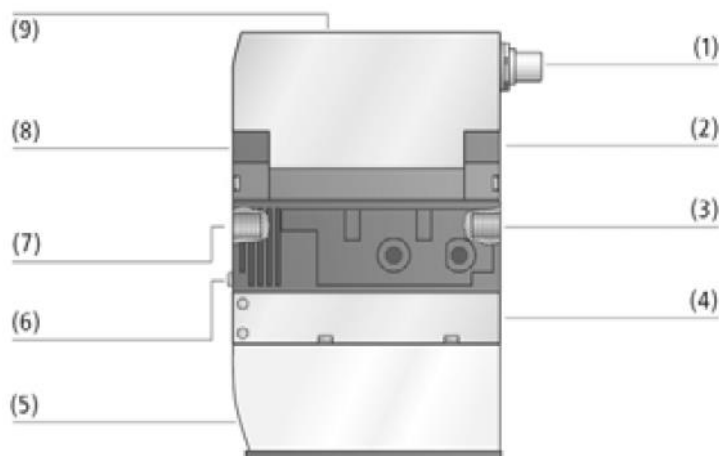


Figura 83 Eyector compacto SCPi

La **Figura 83** representa el eyector de vacío seleccionado para nuestro sistema

- Cuerpo básico de plástico de alta resistencia
- Pantalla de usuario (9) con siete segmentos, teclado de control e indicador luminoso de estado del sistema
- Conexión eléctrica (1) mediante conector standard M12, opcionalmente con separación de potencial
- Válvulas neumáticas integradas para función de conmutación
- NO, NC o impulso (2) y (8)
- Módulo de descarga Power en el tipo SMPi (4) para una potencia de descarga extremadamente alta y reducción de los tiempos de descarga.
- Tornillo de ajuste para reducción del volumen de descarga (6)
- Conexiones neumáticas (3/8" y 1/4") con tamices protectores (3) y (7)
- Silenciador (5)

El eyector compacto dispone tanto de válvulas para el control de las funciones "Aspirar" y "Descargar", como de la monitorización de estado para asegurar la seguridad de procesos de manipulación. Además, el eyector compacto SCPi está equipado con la tecnología IO-Link. Ella se encarga de hacer visibles y utilizables las variadas funciones de diagnóstico en el nivel de control. Ello aumenta la disponibilidad de la instalación y hace los procesos de automatización aún más potentes.

❖ Posicionamiento del eyector en nuestro sistema.

Debido a las dimensiones del eyector se opta a posicionar el eyector fuera de nuestra herramienta, el eyector se sitúa sobre una placa base que está fijada a la superficie del brazo robot.

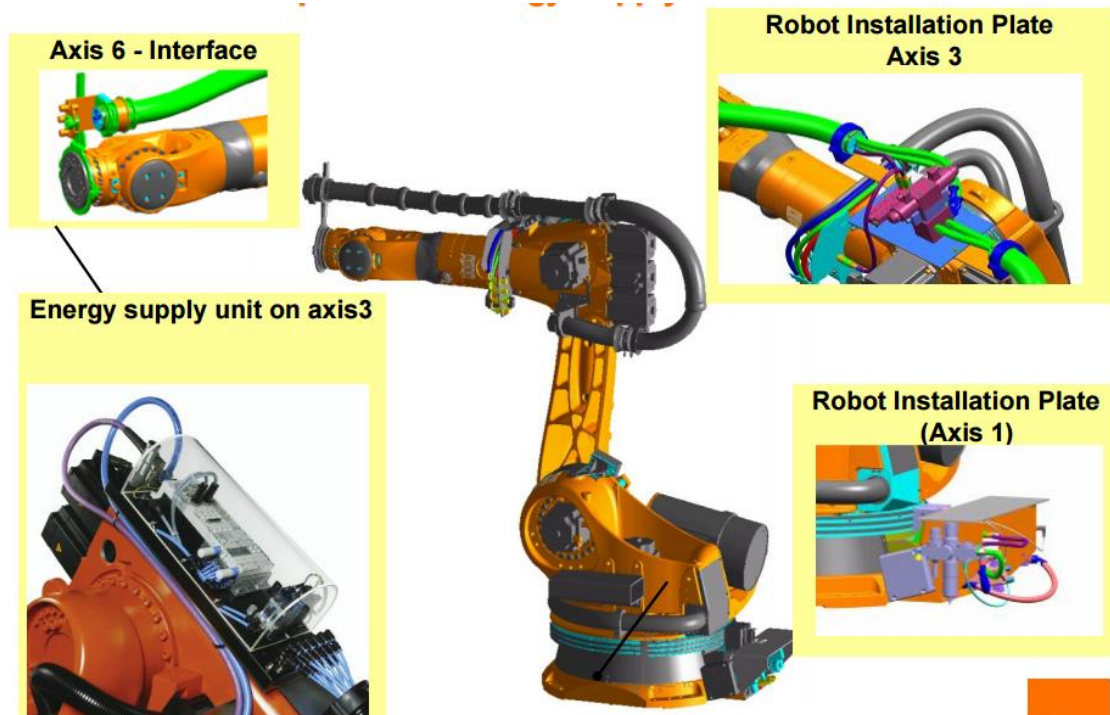


Figura 84 Posicionamiento del eyector. (KUKA, www.kuka.com, 2016)

la **Figura 84** representa la base en la que se sitúa el eyector, esta base está fijada a la superficie del brazo del robot, además se puede observar el recorrido de la tubería hasta el plato master.

6.2.2.4. Biela elástica



Figura 85 Biela elástica FSTE-HD G1/4''. (SCHMALZ)

La **Figura 85** es la representación de la biela elástica FSTE-HD G1/4'' con una carrera de 50mm.

Para reducir el impacto de la herramienta con la pieza, además de la posibilidad de la manipulación de piezas con diferentes alturas, se utiliza una biela elástica con alojamientos deslizantes especiales y resorte amortiguador, con esto garantizamos un suave contacto de las piezas. Las bielas elásticas se utilizan abundantemente en las tareas de la manipulación de alta dinámica y tiempos de ciclo corto.

Modelo	Const. resorte [N/mm]	Tens. previa resorte [N]	Fuerza del resorte [N]*	Carga vertical [N]**	Carga horizontal [N]***	Peso [g]	Temperatura de trabajo [°C]
FSTE-HD G1/8-AG 15	0,221	3,53	5,19	3700	385	80	0 ... 80
FSTE-HD G1/8-AG 15 VG	0,221	3,53	5,19	3700	385	80	0 ... 80
FSTE-HD G1/8-AG 25	0,143	3,57	5,36	3700	283	90	0 ... 80
FSTE-HD G1/8-AG 25 VG	0,143	3,57	5,36	3700	283	90	0 ... 80
FSTE-HD G1/8-AG 50	0,097	2,92	5,34	3700	173	110	0 ... 80
FSTE-HD G1/8-AG 50 VG	0,097	2,92	5,34	3700	173	110	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 25	0,711	6,47	15,36	2400	747	145	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 25 VG	0,711	6,47	15,36	2400	747	145	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 50	0,452	1,40	12,70	2400	466	175	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 50 VG	0,452	1,40	12,70	2400	466	175	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 75	0,262	5,38	15,20	2400	340	190	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 75 VG	0,262	5,38	15,20	2400	340	190	0 ... 80
FSTE-HD G1/4-AG 90 VG	0,262	1,49	13,28	1500	300	210	0 ... 80
FSTE-HD G3/8-AG 25	3,829	25,64	73,50	4800	1870	400	0 ... 80
FSTE-HD G3/8-AG 25 VG	3,829	25,64	73,50	4800	1870	400	0 ... 80
FSTE-HD G3/8-AG 75	1,072	37,20	77,40	4800	800	530	0 ... 80
FSTE-HD G3/8-AG 75 VG	1,072	37,20	77,40	4800	800	530	0 ... 80
FSTE-HD G3/8-AG 90	1,072	24,38	75,30	4800	730	545	0 ... 80
FSTE-HD G3/8-AG 90 VG	1,072	24,38	75,30	4800	730	545	0 ... 80
FSTE-HD G1/2-AG 25	3,829	25,64	73,50	4900	1870	400	0 ... 80
FSTE-HD G1/2-AG 25 VG	3,829	25,64	73,50	4900	1870	400	0 ... 80
FSTE-HD G1/2-AG 75	1,072	37,20	77,40	4900	800	530	0 ... 80
FSTE-HD G1/2-AG 75 VG	1,072	37,20	77,40	4900	800	530	0 ... 80
FSTE-HD G1/2-AG 90	1,072	24,38	75,30	4900	730	544	0 ... 80
FSTE-HD G1/2-AG 90 VG	1,072	24,38	75,30	4900	730	545	0 ... 80

*Referida al 50 % de carrera

**Carga estática máxima

***La indicación de la carga horizontal se refiere al borde inferior de la biela en estado elásticamente descomprimido. Es una carga estática máxima e influye en el proceso de compresión y descompresión elástica en estado horizontal.

Tabla. Datos técnicos de la biela elástica

En la tabla se puede observar los datos técnicos de la biela elástica seleccionada para nuestra herramienta.

Tabla 25 Datos técnicos de la biela elástica.

En la **Tabla 25** se puede observar las características de la biela elástica que hemos seleccionado.

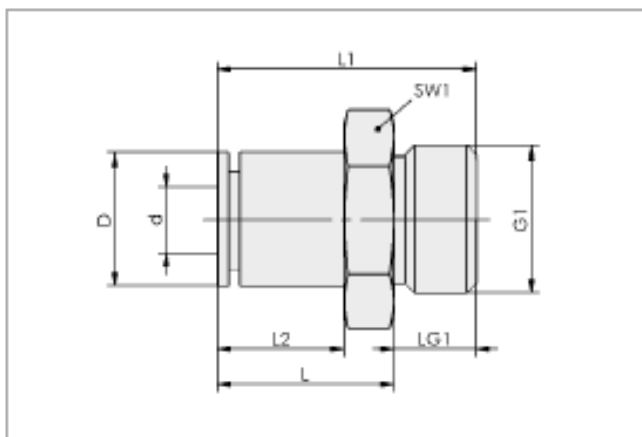
6.2.2.5. Racores

La conexión del tubo flexible con el plato master, plato tool, distribuidor y válvula se lleva a cabo por medio de racores instantáneos.

Para la conexión del tubo flexible VSL 8-6 PE con el plato master y el plato tool se utiliza los racores instantáneos STV de diámetro 14 y rosca G3/8" MA.



Atornilladura encaje STV-GE



STV-GE

Modelo	Dimensiones en mm							
	d	D	G1	L	L1	L2	LG1	SW1
STV-GE M5-AG 4	4	7,9	M5-MA	15,0	19,5	11,4	4,5	8
STV-GE M5-AG 6	6	9,9	M5-MA	18,8	23,3	14,3	4,5	10
STV-GE G1/8-AG 4	4	7,9	G1/8"-MA	13,7	19,2	9,5	5,5	13
STV-GE G1/8-AG 6	6	11,4	G1/8"-MA	16,4	21,9	12,1	5,5	13
STV-GE G1/8-AG 8	8	14,0	G1/8"-MA	20,7	26,2	16,4	5,5	14
STV-GE G1/4-AG 4	4	8,6	G1/4"-MA	11,8	19,6	7,3	7,8	17
STV-GE G1/4-AG 6	6	11,2	G1/4"-MA	15,2	23,0	10,7	7,8	17
STV-GE G1/4-AG 8	8	13,9	G1/4"-MA	17,8	25,2	12,8	7,4	17
STV-GE G1/4-AG 10	10	16,5	G1/4"-MA	23,4	30,8	18,4	7,4	17
STV-GE G1/4-AG 12	12	19,5	G1/4"-MA	29,0	36,0	21,1	7,0	20
STV-GE G3/8-AG 8	8	14,6	G3/8"-MA	17,4	25,0	11,8	7,6	20
STV-GE G3/8-AG 10	10	16,5	G3/8"-MA	20,1	27,6	14,6	7,5	20
STV-GE G3/8-AG 12	12	19,5	G3/8"-MA	23,6	31,0	17,6	7,4	20
STV-GE G3/8-AG 14	14	21,5	G3/8"-MA	30,5	37,8	22,1	7,3	22
STV-GE G1/2-AG 10	10	16,5	G1/2"-MA	18,5	28,0	12,5	9,5	24
STV-GE G1/2-AG 12	12	19,5	G1/2"-MA	24,0	33,5	18,0	9,5	24
STV-GE G1/2-AG 14	14	21,5	G1/2"-MA	25,0	34,5	19,0	9,6	24

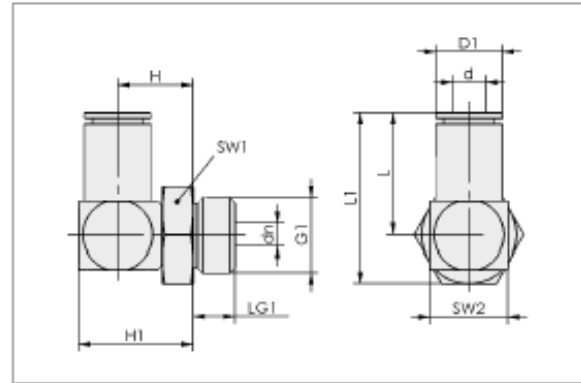
Figura 86 Dimensiones del racor instantáneo SVT-GE. (SCHMALZ)

En la **Figura 86** se puede observar las dimensiones del racor instantáneo SVT-GE seleccionado para nuestra herramienta.

Para la conexión del tubo flexible VSL 14-11 PU con los distribuidores y con las vas válvulas unidireccionales SVK se utiliza un racor instantáneo en forma de L con un diámetro interior de 8 mm y rosca exterior de G1/4" GA, con este tipo de racor instantáneo se consigue facilitar el montaje y desmontaje del tubo flexible.



Atornilladura encaje STV-W



Atornilladura encaje STV-W

Modelo	Dimensiones en mm		D1	G1	H	H1	L	L1	LG1	SW1	SW2
	d	dn									
STV-W M5-AG 4	4	2,5	8,5	M5-MA	8,7	13,6	16,4	21,4	4,7	8	10
STV-W M5-AG 6	6	2,5	9,9	M5-MA	8,7	13,6	19,7	24,7	4,7	8	10
STV-W M5-AG 6	6	4,0	11,5	M5-MA	13,0	16,5	20,8	25,5	4,0	8	8
STV-W G1/8-AG 4	4	3,0	8,5	G1/8"-MA	10,7	15,7	16,4	27,1	5,7	13	10
STV-W G1/8-AG 6	6	4,0	11,5	G1/8"-MA	12,5	16,5	20,8	27,5	6,0	13	8
STV-W G1/8-AG 6	6	4,1	11,3	G1/8"-MA	12,8	19,9	20,1	27,1	5,7	13	14
STV-W G1/8-AG 8	8	5,5	14,6	G1/8"-MA	13,7	21,8	24,0	32,0	5,7	13	16
STV-W G1/4-AG 4	4	3,0	8,5	G1/4"-MA	11,5	16,8	16,4	25,5	7,5	17	10
STV-W G1/4-AG 6	6	4,1	11,3	G1/4"-MA	13,5	20,4	20,2	29,4	7,5	17	14
STV-W G1/4-AG 8	8	6,5	14,6	G1/4"-MA	14,8	22,7	24,0	33,2	7,5	17	16
STV-W G1/4-AG 10	10	8,0	16,6	G1/4"-MA	15,5	24,5	27,2	36,3	7,5	17	18
STV-W G1/4-AG 12	12	8,5	19,8	G1/4"-MA	17,0	27,0	34,5	44,5	7,5	17	20
STV-W G3/8-AG 8	8	6,5	14,3	G3/8"-MA	16,0	23,9	23,7	34,6	7,5	20	16
STV-W G3/8-AG 10	10	8,0	16,5	G3/8"-MA	17,0	26,0	35,1	46,0	7,5	20	18
STV-W G3/8-AG 12	12	9,0	19,8	G3/8"-MA	18,0	27,9	34,1	45,0	7,5	20	20
STV-W G1/2-AG 10	10	8,0	16,6	G1/2"-MA	17,6	26,5	27,0	40,0	9,5	24	18
STV-W G1/2-AG 12	12	9,0	19,8	G1/2"-MA	18,5	28,5	34,3	47,3	9,5	24	20

Figura 87 Racor instantáneo STV-W con sus dimensiones. (SCHMALZ)

En la **Figura 87** se puede ver el racor instantáneo STV-W seleccionado para nuestra herramienta.

6.2.2.6. Válvula unidireccional



Figura 88 Válvula unidireccional SVK. (SCHMALZ)

La **Figura 88** es una representación de la válvula unidireccional SVK seleccionada para nuestra herramienta.

Debido a la gran variedad de piezas que corta la máquina de corte laser TRUMPF L6050, un porcentaje de las piezas llevan agujero en su interior, si la ventosa de nuestra herramienta se sitúa sobre un agujero hueco se pierde el efecto de vacío, para evitar este caso se utiliza La válvula SVK.

La válvula SVK se utiliza para las aplicaciones en las que no siempre están ocupadas todas las ventosas. La válvula nos permite la desconexión individual de la ventosa que no está ocupada, manteniendo el vacío del sistema.

Modelo	Cap. de aspiración neces. para pu = -0,3 bar [m³/h]	Cap. de aspiración neces. para pu = -0,3 bar [l/min]	Cap. de aspiración neces. para pu = -0,6 bar [m³/h]	Cap. de aspiración neces. para pu = -0,6 bar [l/min]	Flujo máx. [m³/h] al descargar*	Flujo máx. [l/min] al descargar*	Peso [g]
SVK M5-IG	0,07	1,2	0,08	1,3	4,8	80	2,2
SVK G1/8-IG	0,14	2,3	0,15	2,5	18,6	310	11,2
SVK G1/4-IG	0,17	2,9	0,20	3,4	20,4	340	17,5
SVK G3/8-IG	0,44	7,3	0,48	8,0	35,4	590	30,3
SVK G1/2-IG	0,49	8,1	0,54	9,0	47,4	790	47,4
SVKG M5-AG	0,07	1,2	0,08	1,3	4,8	80	2,2
SVKG G1/8-AG	0,14	2,3	0,15	2,5	18,6	310	11,2
SVKG G1/4-AG	0,17	2,9	0,20	3,4	20,4	340	17,5
SVKG G3/8-AG	0,44	7,3	0,48	8,0	35,4	590	30,3
SVKG G1/2-AG	0,49	8,1	0,54	9,0	47,4	790	47,4
SVV G1/4-IG	1,36	22,6	1,72	28,6	24,0	400	24,7

*Presión de descarga 5 bar

Tabla 26 Datos técnicos de la válvula unidireccional SVK.

En la **Tabla 26** se muestran las especificaciones técnicas de la válvula unidireccional SVK seleccionada.

6.2.2.7. Alojamiento articulado

Cuando la pieza a manipular es de dimensiones grandes o de un espesor fino, al elevarla se queda suspendida y tienden a pandear, este pandeo puede provocar que la pieza se suelte de la ventosa, para evitar que la pieza se suelte, se utilizara un alojamiento articulado Flexolink FLK con un ángulo máximo de adaptación de 12°.



Figura 89 Alojamiento articulado Flexolink FLK. (SCHMALZ)

La **Figura 89** representa el alojamiento articulado seleccionado para nuestra herramienta.

6.2.2.8. Perfil

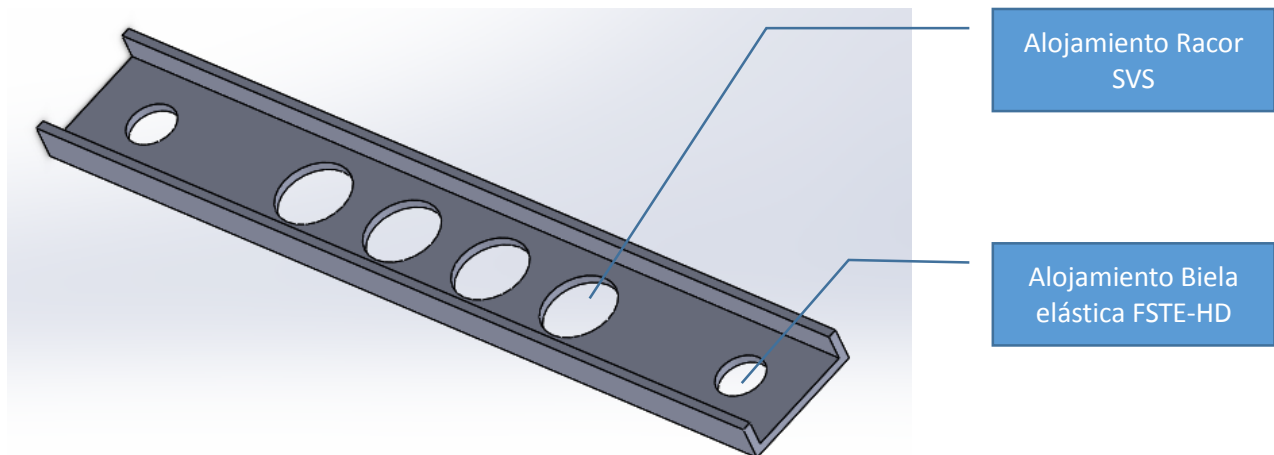


Figura 90 Base de apoyo de las ventosas

La **Figura 90** representa la base de perfil (U) donde se fijan las ventosas.

Las ventosas están fijas a una barra de perfil (U), se utiliza la barra de perfil (U) debido a su gran resistencia al pandeo. la barra está fabricada de aluminio para reducir su peso. Las dimensiones de la barra varían en función de la herramienta.

- Herramienta 1: se utilizan dos barras de perfil (U) con unas dimensiones de 100 x 35 x 10 mm
- Herramienta 2: se utilizan dos barras de perfil (U) con unas dimensiones de 300 x 35 x 10 mm
- Herramienta 3: se utilizan des barras de perfil (U) con unas dimensiones de 600 x 50 x 12 mm

6.2.2.9. Racor SVS



Figura 91 Racor SVS-GE. (SCHMALZ)

La **Figura 91** representa un Racor soporte SVS-GE que sirve de fijación de la ventosa con la barra base de perfil (U).

Los racores SVS-GE se utilizan para fijar la ventosa a la chapa base, en nuestro caso como la ventosa esta acoplada a un alojamiento articulado para dotarle de una posible Angulo de torsión de hasta 12°, el racor se conecta en su primer extremo al alojamiento articulado mediante una rosca interior de G3/8"GE y en el segundo extremos esta enroscado a la válvula unidireccional SVK mediante una rosca interior de 3/8"GE.

6.2.2.10. Base del plato tool

La base del plato tool es la chapa de aluminio sobre la cual está apoyado el plato tool, las bielas elásticas y el distribuidor.

Las dimensiones de la base del plato tool varía en función de la herramienta.

La herramienta 1 tiene unas dimensiones de: 260 x 200 x 10 mm

La herramienta 2 y 3 tienen unas dimensiones de: 340 x 220 x 10 mm

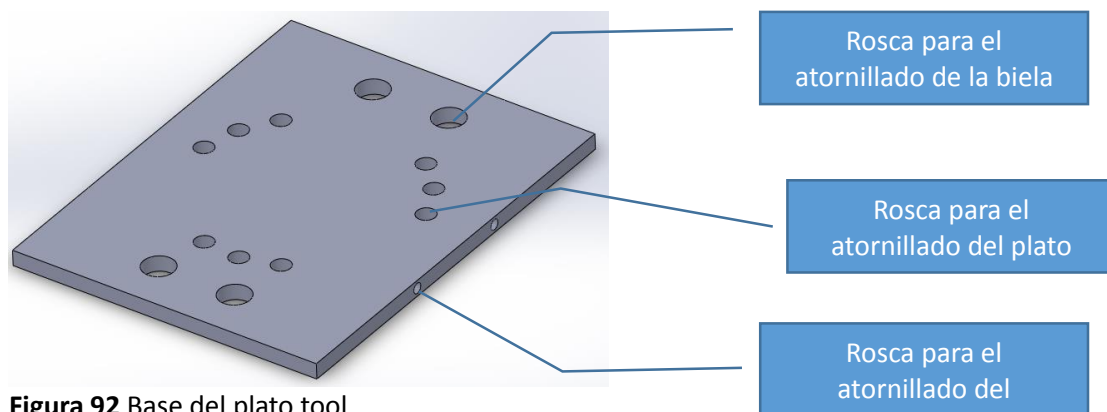


Figura 92 Base del plato tool

La **Figura 92** representa la base del plato tool con las roscas para la fijación del plato tool, biela elástica y unas roscas laterales para el encaje del distribuidor.

6.2.3. Diseño final del sistema de ventosa

Después de la selección de los diferentes elementos que constituyen nuestra herramienta, se procede a la construcción de la herramienta.

- **Herramienta 1**

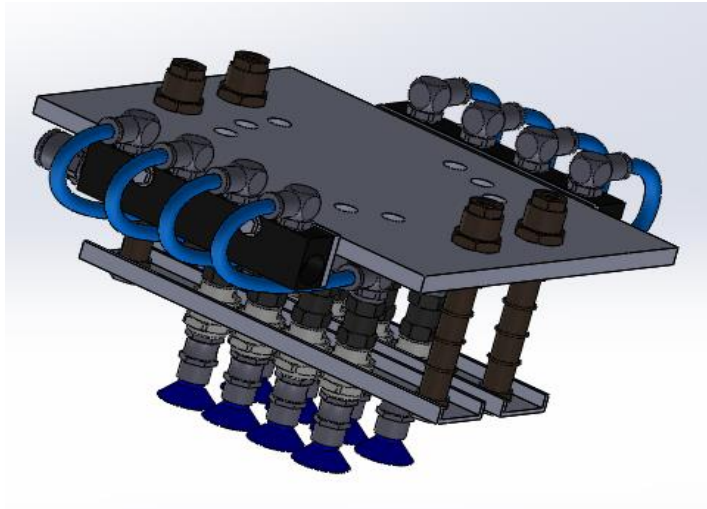


Figura 93 Herramienta 1

La **figura 93** es una demostración de la pieza 1 con los diferentes elementos que la constituyen.

- **Herramienta 2**

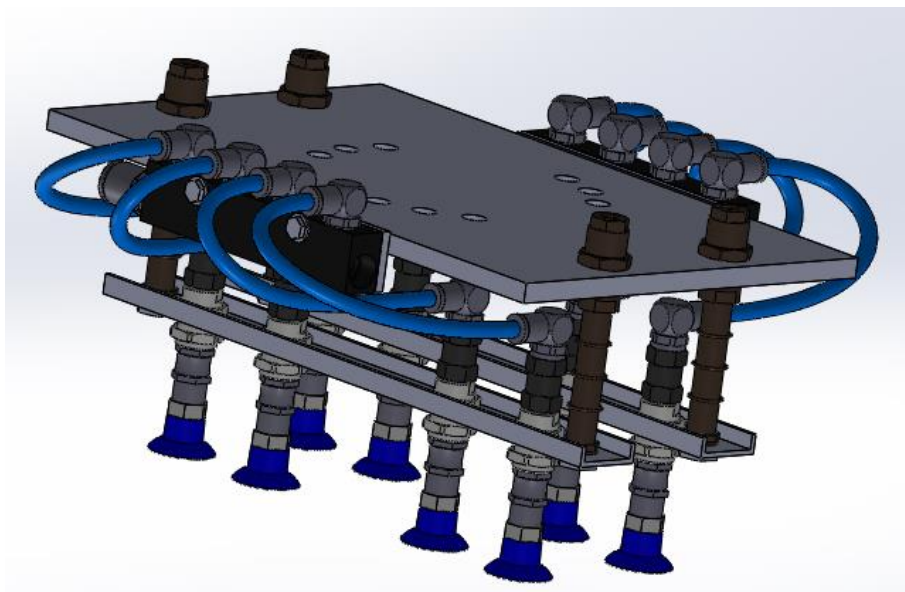


Figura 94 Herramienta 2

La **figura 94** es una demostración de la pieza 2 con los diferentes elementos que la constituyen.

- Herramienta 3

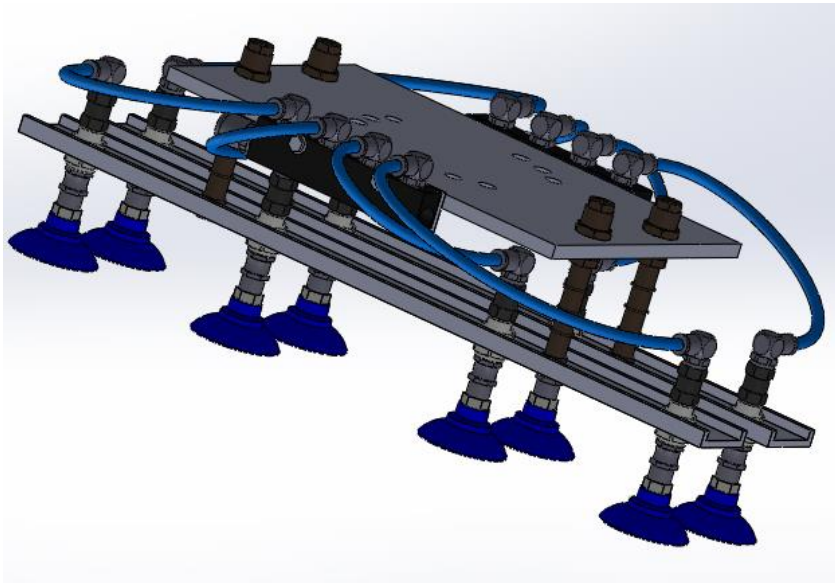


Figura 95 Herramienta 1

La **figura 95** es una demostración de la pieza 1 con los diferentes elementos que la constituyen.

6.2.4. Vista explosionada de la herramienta con el plato tool

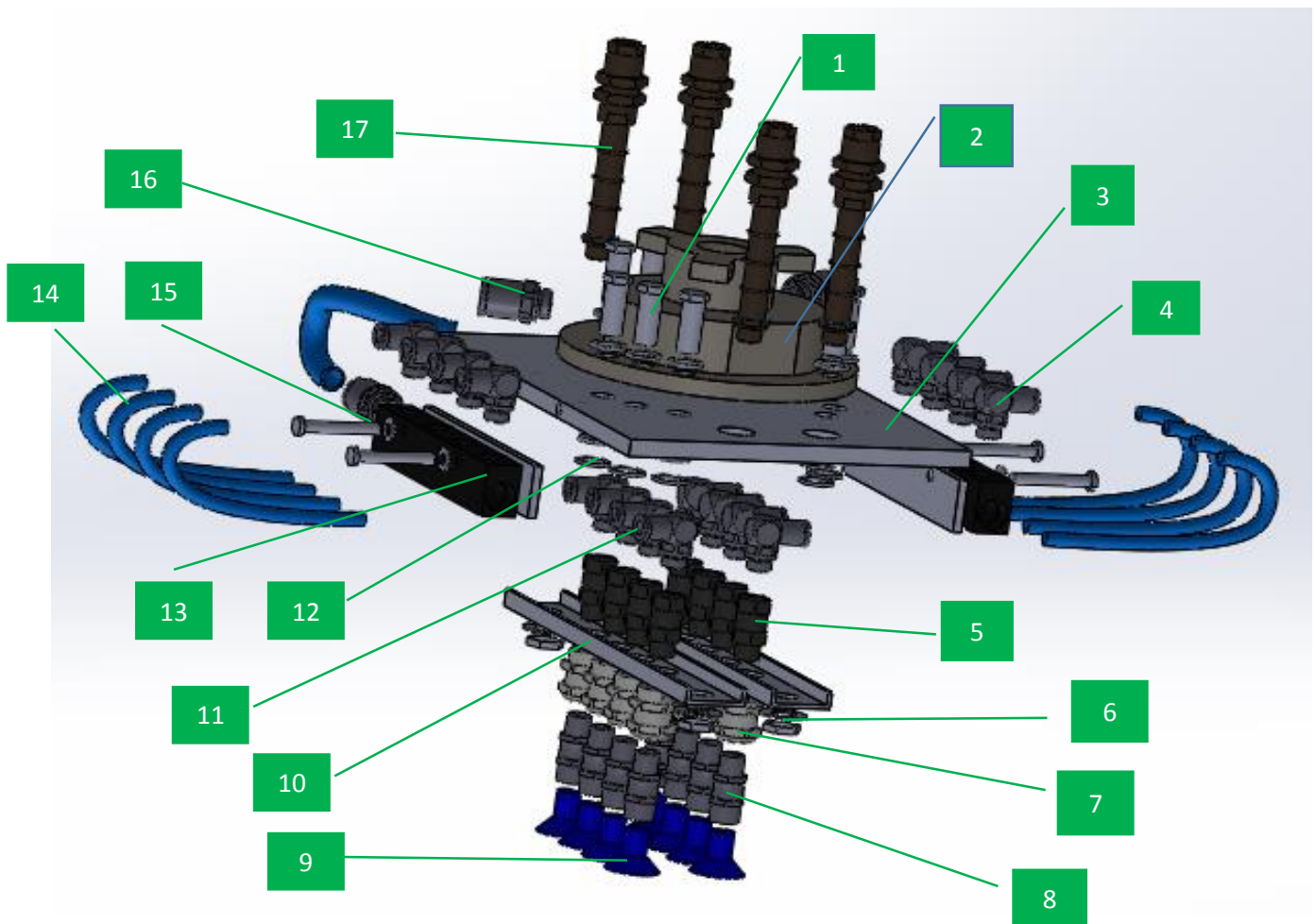


Figura 96 Vista explosionada de la herramienta.

La **Figura 96** representa la vista explosionada de la herramienta, en la cual se pueden apreciar los diferentes elementos que constituyen a la herramienta.

1. Tornillo y arandela para la fijación del plato tool a la base
2. Plato tool
3. Base de apoyo del plato tool
4. Racor instantáneo STV-W roscado al distribuidor
5. Válvula unidireccional SVK
6. Tuerca y arandela para la fijación de la biela elástica con el perfil de apoyo de las ventosas
7. Racor SVS
8. Alojamiento articulado Flexolink FLK
9. Ventosa SAXM
10. Perfil (U)
11. Racor instantáneo STV-W roscado a la válvula unidireccional SVK
12. Tuerca y arandela para la fijación del plato tool
13. Distribuidor
14. Tubo Flexible VSL
15. Tornillo con arandela para la fijación del distribuidor a la base de apoyo del plato tool
16. Racor instantáneo STV-GE
17. Biela elástica FSTE-HD de 50 mm de carrera

7. Presupuesto

	Componentes	Precio (€/Ud.)	Unidades	Coste total (€)
Robot con la Corredera	Robot KUKA KR 120 R3200 PA	21700	1	21700
	Corredera KUKA KL 2000	865	12 (m)	10380
Cambiador de herramienta	Plato Master	350	1	350
	Cilindro compacto ISO 21287	55,35	3	166,05
	Detector magnético de posición	26,47	3	79,41
	Plato Tool	350	3	1050
Herramientas	Ventosa SAXM 20	20,7	8	165,6
	Ventosa SAXM 40	21,4	8	171,2
	Ventosa SAXM 60	23,8	8	190,4
	Alojamiento articulado Flexolink	26,17	24	628,08
	Racor SVS	11,03	24	264,72
	Válvula unidireccional SVK	26,4	24	633,6
	Racor STV-W	8,64	48	414,72
	Biela elástica FSTE-HD 50	53,9	12	646,8
	Racor STV-GE	11,44	14	160,16
	Distribuidor	14,44	6	86,64
	Tubo Flexible VSL	0,89	10 (m)	8,9
	Eyector compacto SCPI 20	570	1	570
	Perfil (U) Aluminio	9,87	2 (m)	19,74
	Base Aluminio Plato Tool	28,5	3	85,5
	Tornillo M12 x 30	0,26	33	8,58
	Tornillo M6 x 45	0,24	12	2,88
	Tuerca M12	0,18	33	5,94
	Arandela M12	0,14	66	9,24
	Arandela M 6	0,12	12	1,44
			TOTAL	37799,6

	Horas	€/Hora	Coste total (€)
Diseño	120	30	3600
Montaje del sistema	40	20	800
		TOTAL 2	4400

Tabla 27 Presupuesto total

En la **Tabla 27** se puede observar los diferentes precios de las partes de nuestro sistema de evacuación automática.

TOTAL = TOTAL 1 + TOTAL 2 = 37799,6 + 4400 = 42.199,6 €

8. Conclusión y Trabajos futuros

8.1. Conclusión

- I. Comprobación de las especificaciones del sistema. Al principio del trabajo se han puesto una serie de restricciones que debía de cumplir nuestro sistema de evacuación automatizada, conforme se ha ido desarrollando el proyecto se ha visto obligado a variar algunas restricciones para que el sistema diseñado sea viable. Una de las restricciones que se han modificado es que nuestro sistema de evacuación automática no tiene la capacidad de evacuar el 100% de las piezas que corta la maquina Trumpf L6050, por lo tanto, se ha tenido que reducir este porcentaje descartando las piezas de dimensiones inferiores a 100 x 100 mm. Otra de las restricciones que se han visto variadas es que nuestro sistema no dota de una herramienta capaz de adaptarse a todo tipo de piezas, se ha tenido que diseñar tres tipos de herramientas, en función de la dimensión de la pieza a evacuar se acoplaba una herramienta u otra.
- II. Después del estudio del mercado de los diferentes sistemas para evacuar las piezas y del análisis del entorno de trabajo, se ha optado al siguiente sistema, un robot apoyado sobre una base móvil (corredera) debido a su bajo coste, gran fiabilidad y flexibilidad, fácil mantenimiento, alta velocidad de proceso, etc.
- III. Después de analizar la forma de la evacuación de las piezas, la máquina de corte laser realiza el corte de la chapa a una velocidad demasiado alta mientras un empleado quita partes del área de descarga y pone la siguiente hoja para reiniciar el corte. Cada momento que el láser está esperando es una oportunidad perdida. Si la maquina Trumpf L6050 después de acabar el corte tiene que esperar que el trabajador termine de evacuar las piezas, la principal ventaja de la máquina que es la velocidad de corte se anula.

La automatización gracias a las altas velocidades del robot y la corredera nos ayudar a reducir el tiempo de desaprovechamiento de la máquina de corte por láser Trumpf L6050 causado por la lenta evacuación de las piezas.
- IV. Después del análisis de las diferentes marcas de robot, se ha deducido que conforme aumenta el alcance máximo del robot, aumenta con él las dimensiones del robot y esto provoca una reducción de las velocidades del robot. Para disminuir la distancia del punto más lejano al que tiene que llegar el robot, se ha decidido la modificación de los Nestings. Las piezas de grandes dimensiones del Nesting se situarán en el otro extremo lejano al robot, con esto el centro de gravedad de la pieza se acerca más al robot.
- V. Se descartó el uso de un sistema de electroimanes para la manipulación de las piezas, debido a que la empresa SINASE varios de los materiales que corta, son materiales no magnéticos, por lo tanto, el sistema de manipulación dotado al robot para manipular las piezas a evacuar es un sistema de ventosas capaz de

garantizarnos la evacuación del 100% de los materiales que se utilizan en la empresa SINASE.

- VI. Debido a la gran variedad de las dimensiones y geometrías de las piezas a evacuar se ha optado a equipar a nuestro sistema con 3 herramientas de diferentes dimensiones con el fin de adaptar nuestro sistema de manipulación al más alto porcentaje de piezas posible.
- VII. Muchas de las piezas a evacuar tienen agujeros en el interior de estas, por el que, si la ventosa se sitúa sobre un agujero de estos, el sistema pierde el efecto de vacío. Como solución a este fenómeno, se incorporará una válvula unidireccional en cada ventosa, estas válvulas al detectar que la ventosa no está en contacto con la pieza, generan un cierre inmediato del suministro del efecto de succión a dicha ventosa. Con esto conseguimos evitar fugas en nuestro sistema.

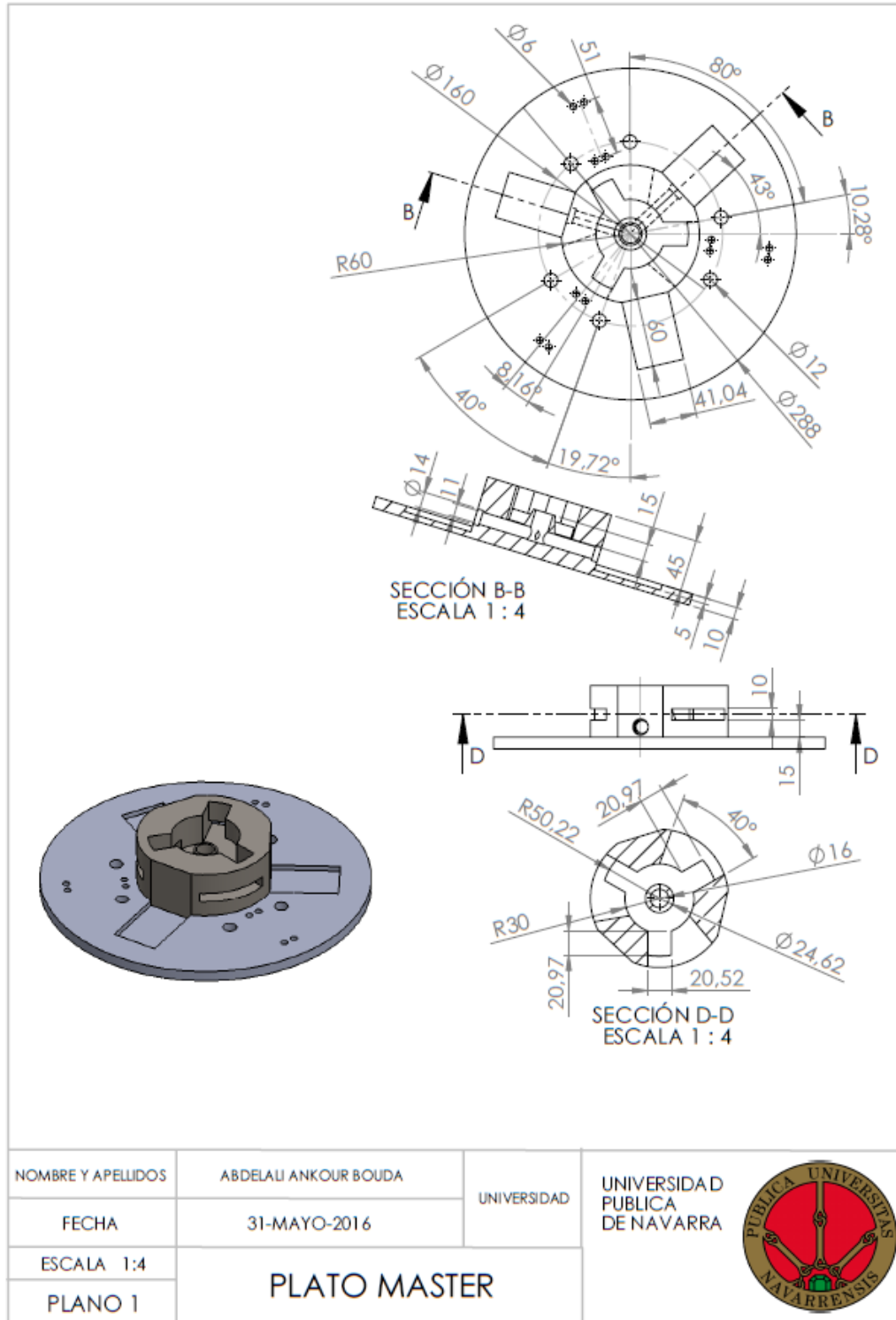
8.2. Trabajos futuros

A partir del trabajo desarrollado en la realización de este proyecto se dejan líneas abiertas para la completar y mejora del sistema de evacuación automático, como pueden ser:

- Instalación del sistema propuesto para la mejora de la detección y control de las herramientas y reconocimiento del software de dicho sistema por el controlador.
- Mejorar el sistema de evacuación automatizada, para poder percibir la orientación de la chapa con las piezas cortada y detectar la existencia de la pieza a evacuar.
- Mejora y renovación de sistemas de la instalación anticuados o desgastados por el uso.
- Estudio de la seguridad del sistema de evacuación automatizada.
- Instalación del sistema en la empresa, estudio de la cementación del suelo de apoyo de la corredera, para garantizar un funcionamiento óptimo de esta.
- Diseño del soporte para las herramientas, el soporte se debe adaptarse al cambiador de herramienta diseñado.
- Programación del sistema de evacuación automatizada, diseño del software.
- Simulación 3D del funcionamiento del sistema de evacuación automatizada.

9. Apéndice. Planos de las piezas diseñadas.

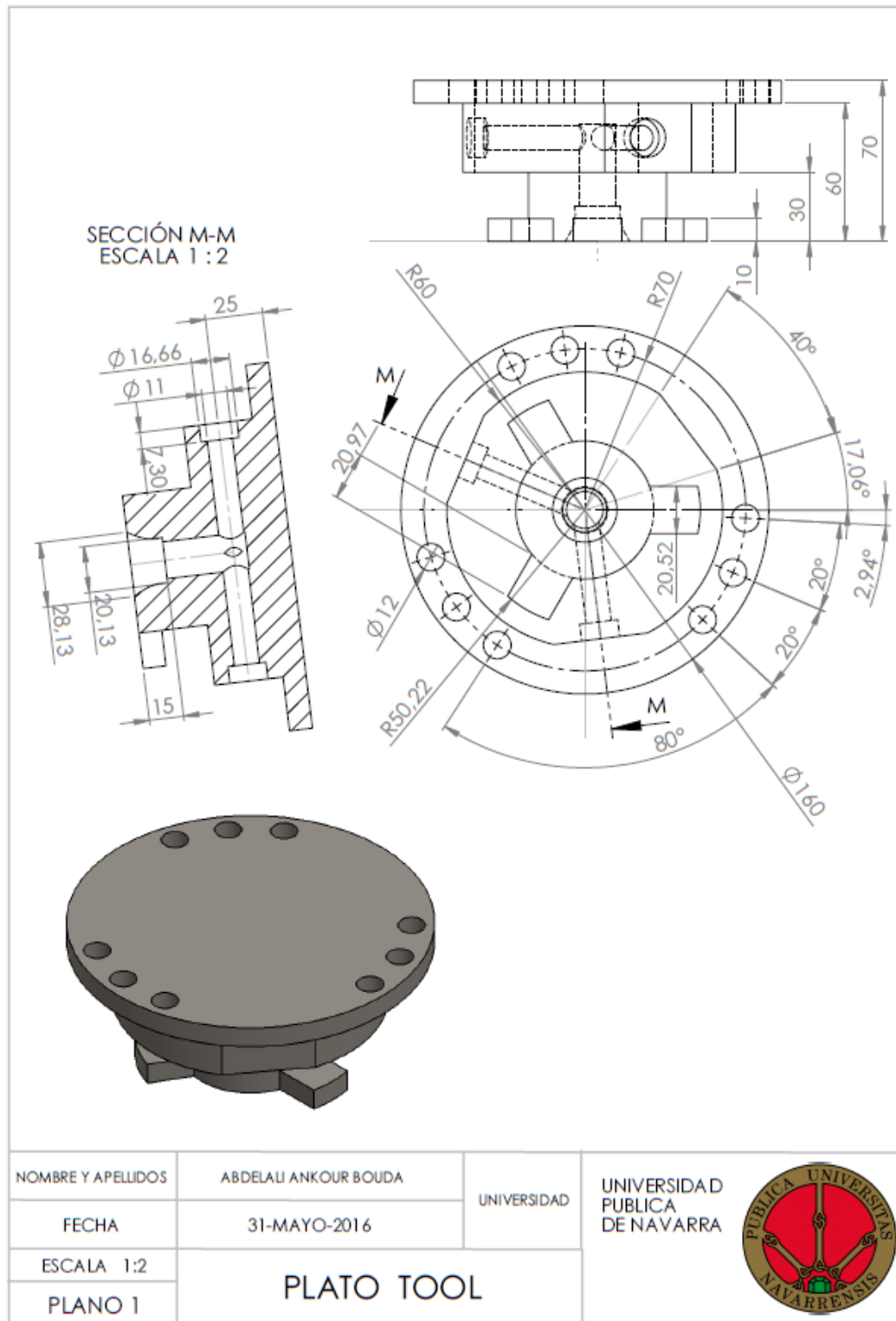
9.1. Plato master



Plano 4 Plano del plato master

El **Plano 4** representa las dimensiones del plato master.

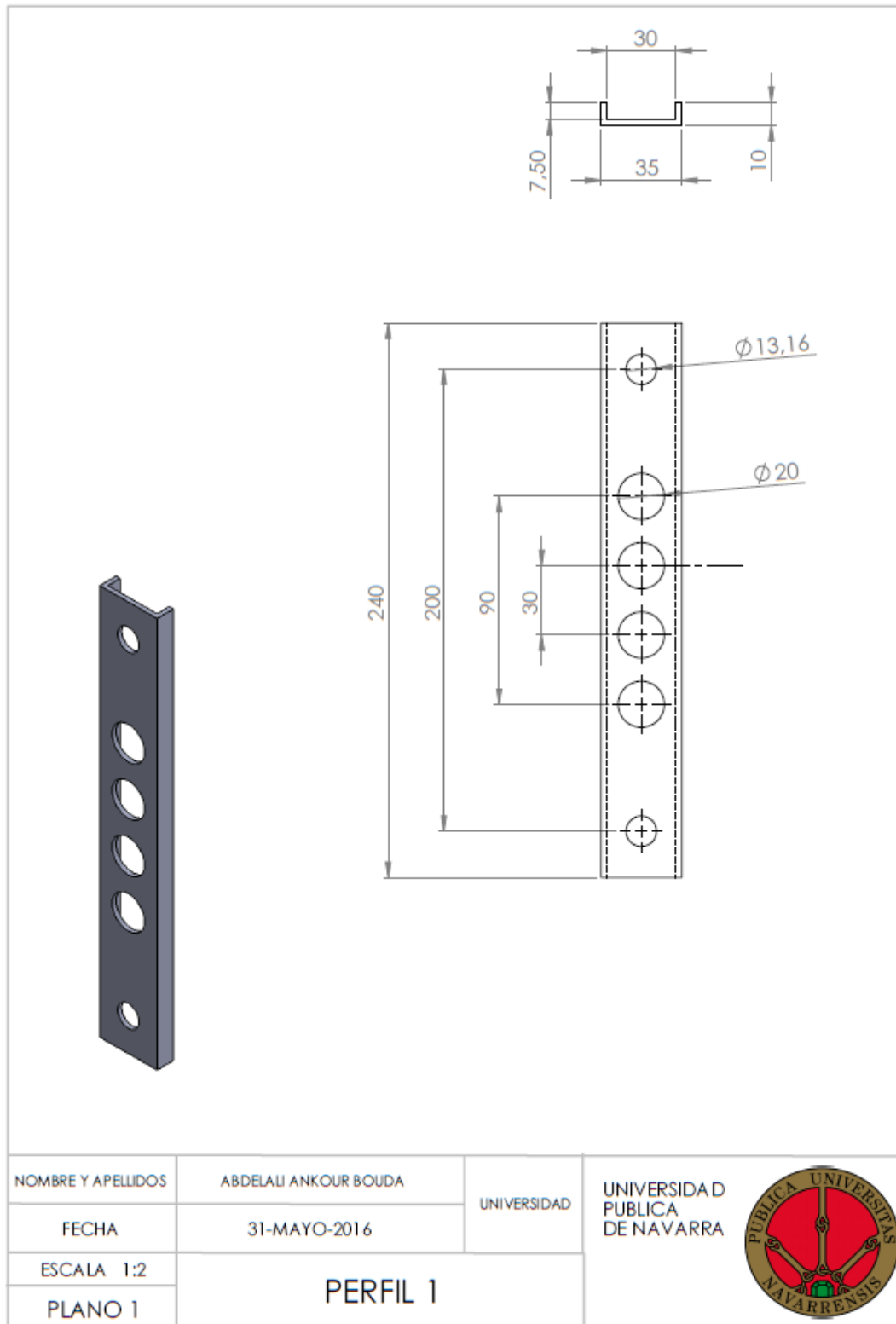
9.2. Plato tool



Plano 5 Plano del plato tool

El **Plano 5** representa las dimensiones del plato tool.

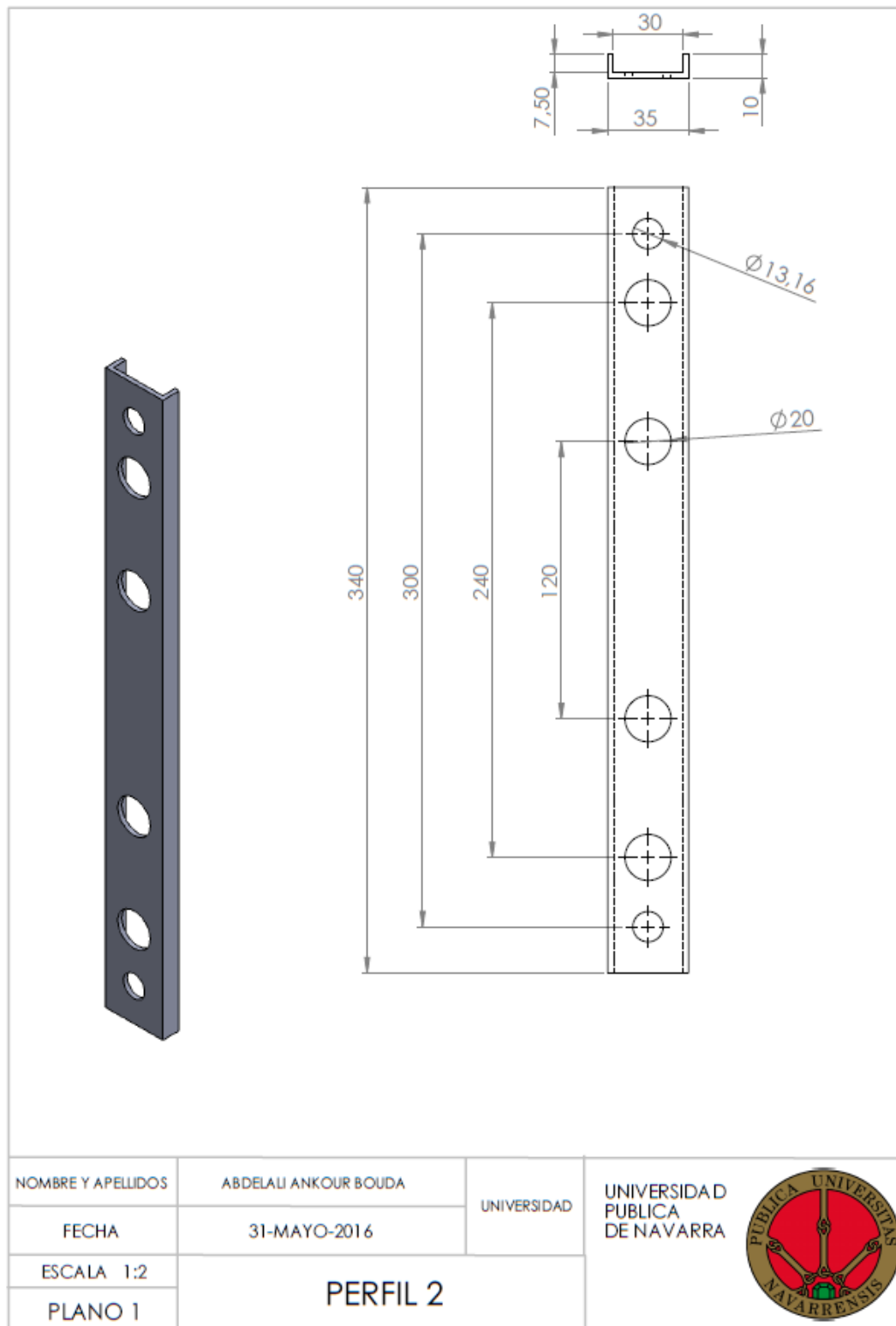
9.3. Perfil (U) 1 de aluminio



Plano 6 Plano del perfil 1 U

El **Plano 6** representa las dimensiones del perfil U de la herramienta 1 que soporta las ventosas.

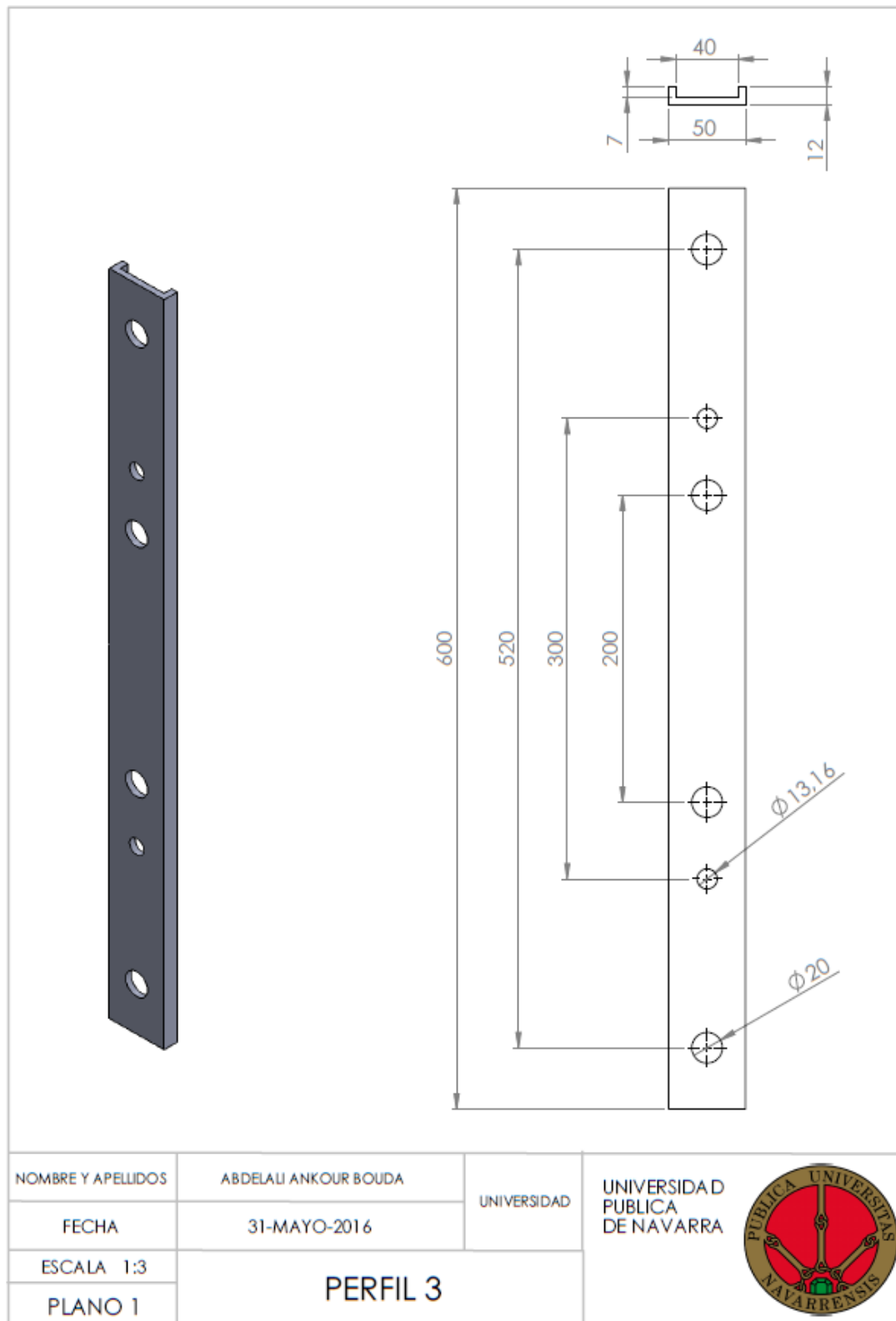
9.4. Perfil (U) 2 de aluminio



Plano 7 Plano del perfil 2 U

El **Plano 7** representa las dimensiones del perfil U de la herramienta 2 que soporta las ventosas.

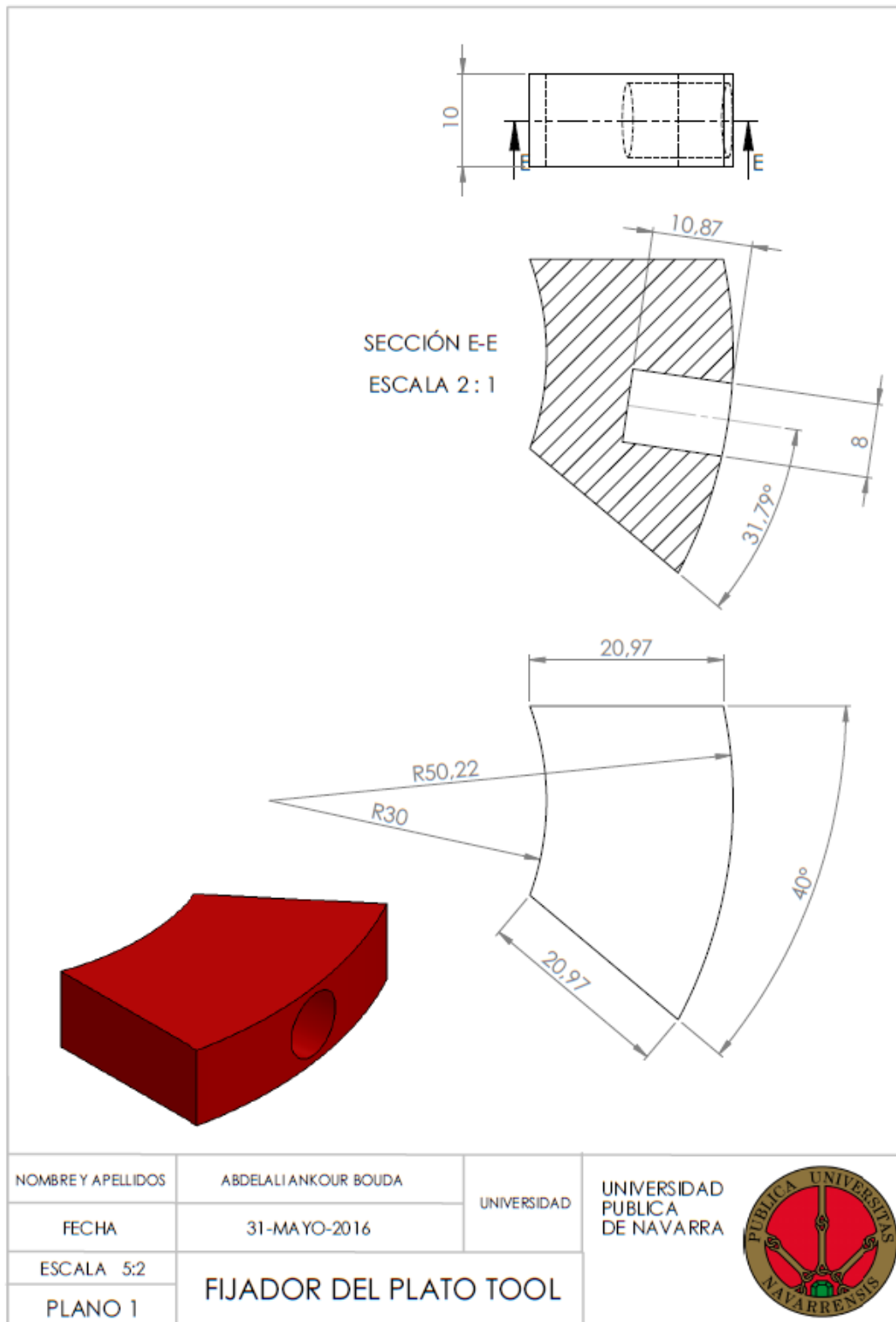
9.5. Perfil (U) 3 de aluminio



Plano 8 Plano del perfil 3 U

El **Plano 8** representa las dimensiones del perfil U de la herramienta 3 que soporta las ventosas.

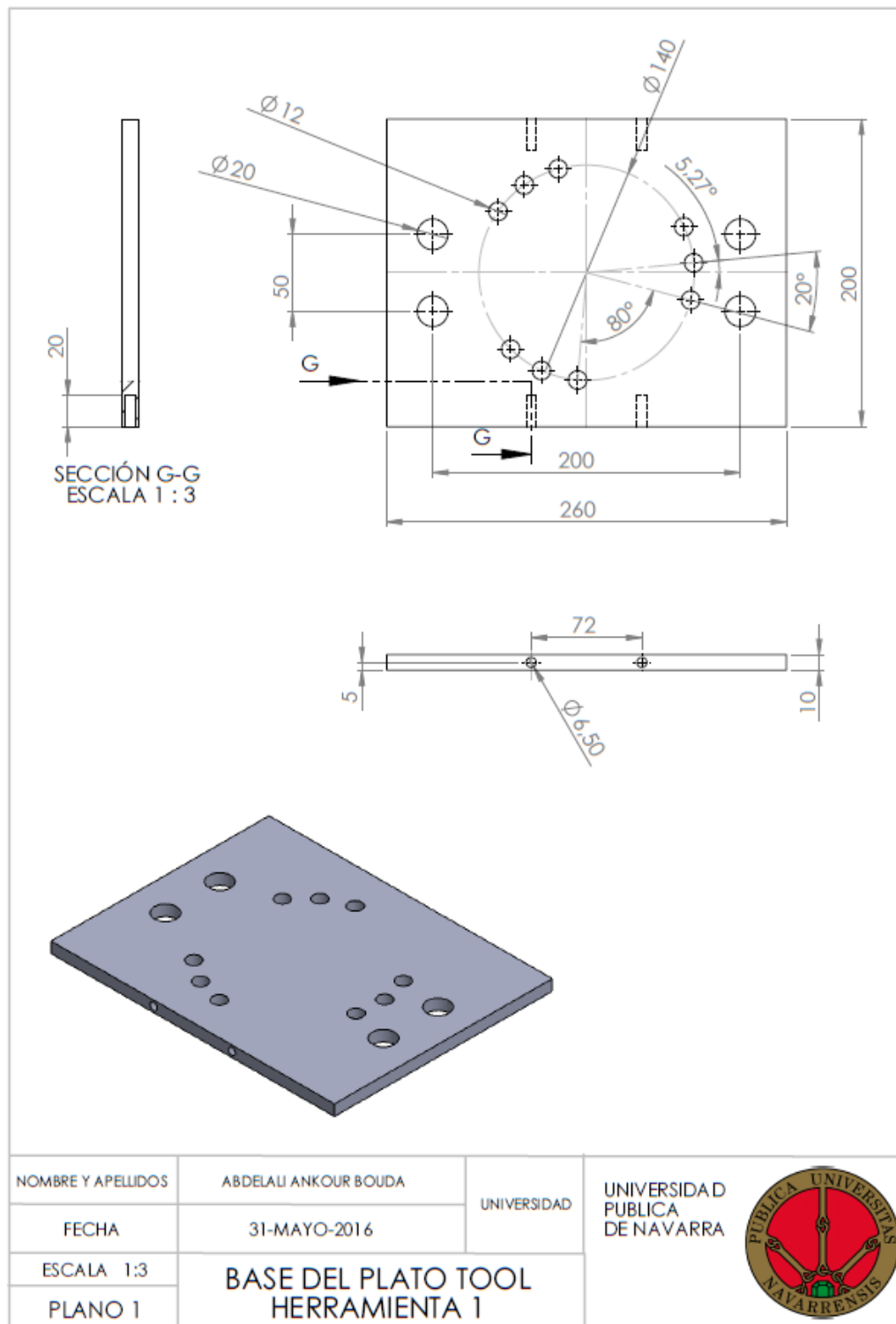
9.6. Fijador del plato Tool



Plano 9 Plano del fijador del plato tool

El **Plano 9** representa las dimensiones del fijador del plato tool que hace de cierre al sistema de cambio de herramienta.

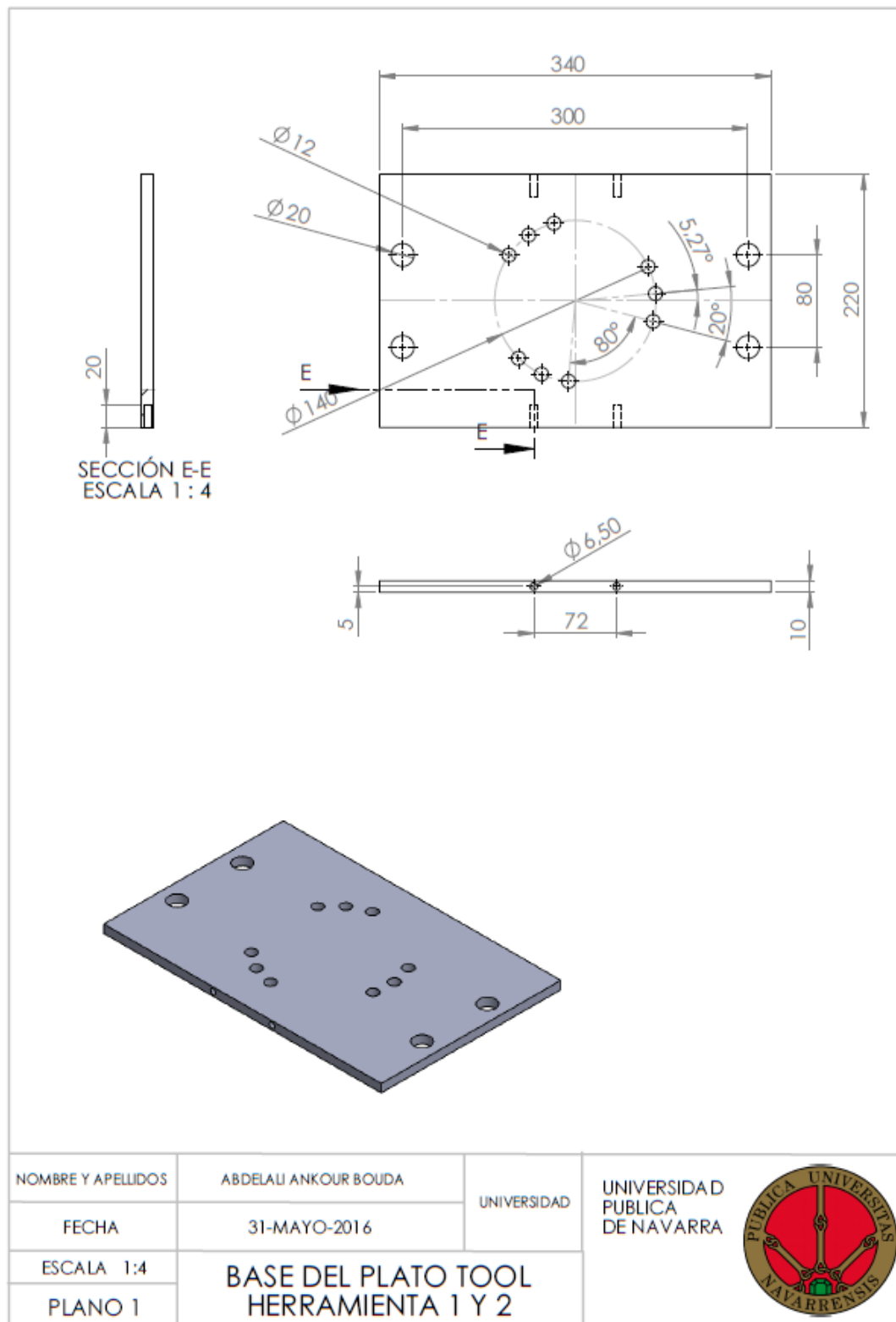
9.7. Base del plato tool para la herramienta 1



Plano 10 Base del plato tool para la herramienta 1

El **Plano 10** representa las dimensiones de la pieza base del plato tool para la herramienta 1

9.8. Base del plato tool para la herramienta 2 y 3



Plano 11 Base del plato tool para la herramienta 1

El **Plano 11** representa las dimensiones de la pieza base del plato tool para la herramienta 1

10. Bibliografía y webgrafía

- ABB. (2016). *www.abb.com*. Obtenido de <http://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-6640>
- ABB. (2016). *www.ABB.es*. Obtenido de <http://new.abb.com/products/robotics/es/equipamiento-accesorios-aplicaciones/posicionadores-de-robot-control-de-movimiento/irbt-6004-para-irb-6600>
- aluminiosmetalesunicornio. (s.f.). Obtenido de <http://www.aluminiosmetalesunicornio.com.mx/6061.html>
- Antonio Barrientos, L. F. (1997). *FUNDAMENTOS DE ROBOTICA*. Madrid: Mc Graw Hill .
- Asconumatics. (s.f.). *asconumatics*. Obtenido de http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/pdf1/01417es.pdf
- astes4. (2014). *www.astes4.ch*. Obtenido de <http://www.astes4.ch/Astes4Sort>
- Automation, A. I. (2016). *www.ati-ia.com/es*. Obtenido de http://www.ati-ia.com/es-MX/Products/toolchanger/robot_tool_changer.aspx
- bystronic. (2016). *www.bystronic.com*. Obtenido de <http://www.bystronic.com/es/productos/automatizacion/ByTrans.php>
- coval-iberica. (s.f.). *www.coval-iberica.com*. Obtenido de <http://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/guia-de-la-manipulacion-por-vacio/generacion-de-vacio/>
- Cutting, T. (s.f.). *www.tcicutting.com*. Obtenido de http://www.metalia.es/guiadeempresas/TCICutting_Agua/pdf/TCI_catalogo_laser.pdf
- FANUC. (2016). *www.fanuc.es*. Obtenido de <http://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-900/m-900ia-150p>
- ihs-gmbh. (s.f.). *www.ihs-gmbh.es*. Obtenido de <http://www.ihs-gmbh.es/maquinas/trumpf-maquinas-laser>
- iprworldwide. (2016). *www.iprworldwide.com*. Obtenido de http://www.iprworldwide.com/en/products/robot-transport-units-rtus/rtu-floor-mounted/product-infos.html%3Ftt_products%255Bcat%255D%3D1464%26tt_products%255Bproduct%255D%3D258%26cHash%3D6d011108a18a57bea3
- IVETTE, F. H. (2015). *repositorio*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8071/1/TESIS-ING.-LADY-FLORES.pdf>
- Jose Maria Angulo Usategui, S. R. (2005). *Introduccion a la Robotica*. Madrid: Paraninfo.
- KUKA. (2016). *www.kuka.com*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/es/products/industrial_robots/special/palletizer_robots/kr180_r3200_pa/start.htm
- KUKA. (2016). *www.kuka.es*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/es/products/addons/linearunits/PA_KL2000_Detail.htm
- KUKA. (2016). *www.kuka.es*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/spain/es/products/industrial_robots/high/prime/kr150_r3100_prime/
- KUKA. (2016). *www.kuka.es*. Obtenido de http://www.kuka-robotics.com/spain/es/products/industrial_robots/special/palletizer_robots/kr120_r3200_pa/
- KUKA. (s.f.). *www.kuka-robotics.com*. Obtenido de <http://www.kuka-robotics.com/res/sps/6b77eeca-cfe5-42d3-b736->

- af377562ecaa_PB0007_E_1_0514_KUKA_Linearunits_Positioners.pdf
 lvdgroup. (2016). *www.lvdgroup.com*. Obtenido de
http://www.lvdgroup.com/es/noticias_automatizacion-flexible-para-punzonaduras-strippit-px_2156.aspx
- Olalde, G. R. (Junio de 2015). *academica-e.unavarra*. Obtenido de http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19257/TFG_RuizOlalde.pdf?sequence=1&isAllo wed=y
- Parker. (s.f.). *www.legris.com*. Obtenido de
http://www.legris.com/Legris_ecom/RechercherReferencesTypeArticle.do;jsessionid=30989F1CA6F481E1186ABB6031CD80EF?codeActivite=BP&codeGroupe=05&codeFamille=01&codeSousFamille=02&codeTypeArticle=3311&codeFiliale=spain&codeLangue=es
- Ramón, F. J. (2014 de Septiembre). *repositorio.uide.edu.ec*. Obtenido de
<http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/652/1/T-UIDE-0597.pdf>
- SCHMALZ. (s.f.). *www.schmalz.com*. Obtenido de
http://es.schmalz.com/data/kataloge/01_VT/es/01_Catalogo-Componentes_ES.pdf
- Singaña Marco, A. F. (Marzo de 2015). Obtenido de
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9402/1/AC-ESPEL-MEC-0041.pdf>
- SMC. (s.f.). *www.smc.eu*. Obtenido de http://content2.smcetech.com/pdf/ZP2_A_ES.pdf
- sofmi. (s.f.). *www.sofmi.com*. Obtenido de <http://www.sofmi.com/author/adminsofmi/page/7/>
- starmatik. (s.f.). *www.starmatik.com*. Obtenido de
<http://www.starmatik.com/es/application/14/Sorting>
- TRUMPF. (2016). *TRUMPF*. Obtenido de
<http://www.es.trumpf.com/es/productos/m225quinas-herramienta/productos/corte-por-laser-2d/automatizacion/sortmaster.html>
- wikipedia. (19 de Febrero de 2016). *wikipedia*. Obtenido de
https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser_de_d%C3%B3xido_de_carbono
- WINKEL. (2016). *ww.winkel.es*. Obtenido de <http://www.winkel-sl.es/sistemas/sistemas-de-componentes/ejespararobots/>